

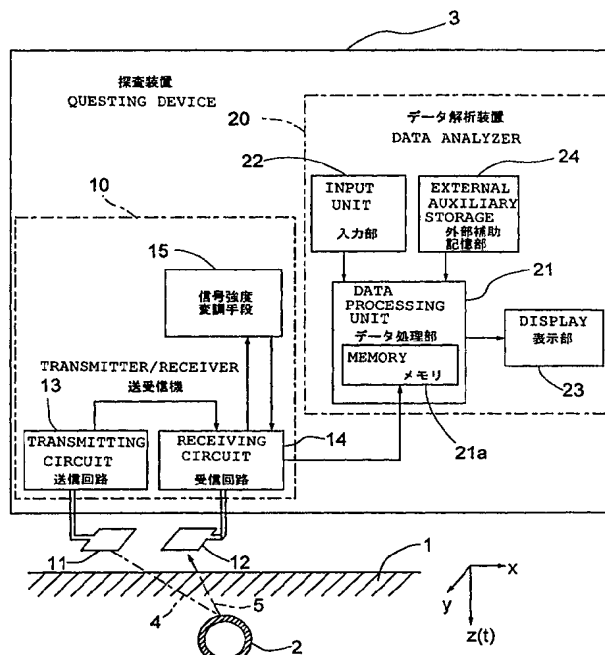
<b>(51) 国際特許分類6</b> <b>G01S 7/20, 13/88, 15/88, G01V 3/12</b>	<b>A1</b>	<b>(11) 国際公開番号</b> <b>WO00/13037</b>  <b>(43) 国際公開日</b> 2000年3月9日(09.03.00)
<b>(21) 国際出願番号</b> PCT/JP99/04670  <b>(22) 国際出願日</b> 1999年8月27日(27.08.99)  <b>(30) 優先権データ</b> 特願平10/245345      1998年8月31日(31.08.98)      JP 特願平10/332459      1998年11月24日(24.11.98)      JP 特願平10/333596      1998年11月25日(25.11.98)      JP  <b>(71) 出願人</b> (米国を除くすべての指定国について) 大阪瓦斯株式会社(OSAKA GAS CO., LTD.)(JP/JP) 〒541-0046 大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号 Osaka, (JP) <b>(72) 発明者 ; および</b> <b>(75) 発明者 / 出願人</b> (米国についてのみ) 早川秀樹(HAYAKAWA, Hideki)(JP/JP) 〒541-0046 大阪府大阪市中央区平野町四丁目1番2号 大阪瓦斯株式会社内 Osaka, (JP) 川中 彰(KAWANAKA, Akira)(JP/JP) 〒102-0094 東京都千代田区紀尾井町7-1 上智大学内 Tokyo, (JP)		<b>(74) 代理人</b> 弁理士 北村修一郎(KITAMURA, Shuichiro) 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎五丁目8番1号 Osaka, (JP)  <b>(81) 指定国</b> US, 欧州特許 (DE, FR, GB, IT)  添付公開書類 国際調査報告書 補正書

**(54) Title: THREE-DIMENSIONAL QUESTING METHOD, THREE-DIMENSIONAL VOXEL DATA DISPLAYING METHOD, AND DEVICE THEREFOR**

**(54) 発明の名称**    3次元探索方法、3次元ボクセルデータ表示方法及びそれらの装置

**(57) Abstract**

A method for three-dimensionally questing a buried structure by moving a questing device along the surface of a medium, radiating a wave signal (4) such as an electromagnetic wave under the ground (1), receiving the reflected signal (5) from a buried structure (2), and generating three-dimensional voxel data including the coordinates (x, y, t) which represent the position on the surface of the ground and the reflection time for the strength of the received signal. The method comprises the object voxel selecting step of selecting one or more object voxels through artificial input, the binarizing step of extracting a group of candidate voxels whose absolute values of the amplitudes are larger than a predetermined threshold and which are interconnected, and the coupling and combining step of extracting a group of coupling candidate voxels to be coupled to the object boxes from the group of candidate voxels and combining the group of coupling candidate voxels to the object voxels to make a group of object voxels. By the method, the position of the buried structure (2) can be determined with a high S/N. Even if a defective voxel is present in the three-dimensional voxel data, a linear interpolation step of carrying out linear interpolation in a predetermined direction in the x-y plane containing the defective voxel is executed to simply interpolate the defective voxel.



15 ... SIGNAL STRENGTH MODULATING MEANS

(57)要約

媒質の表面を移動しながら、電磁波等の波動信号（４）を地中（１）へ放射し、埋設物（２）からの反射信号（５）を受信し、受信信号強度に対する地表面上の位置と反射時間を座標（ $x$ ， $y$ ， $t$ ）とする３次元ボクセルデータを生成して行う埋設物の３次元探査において、１つ以上の物体ボクセルを人為的操作入力により選択する物体ボクセル選択工程と、振幅値の絶対値が所定の閾値より大きいボクセルが相互に接続してなる候補ボクセル群を抽出する２値化工程と、その候補ボクセル群の中から物体ボクセルに連結する連結候補ボクセル群を抽出し、物体ボクセルと合成して物体ボクセル群とする連結合成工程を実行することで、埋設物（２）の位置を高い $S/N$ で検出する。更に、３次元ボクセルデータに欠損ボクセルが存在する場合に、欠損ボクセルを含む $x-y$ 平面内の所定方向に１次元線形補間を施す線形補間工程を実行して、欠損ボクセルを簡易的に補間することができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AL	アルバニア	EE	エストニア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LK	スリランカ	SG	シンガポール
AU	オーストラリア	FR	フランス	LR	リベリア	SI	スロベニア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LS	レソト	SK	スロヴァキア
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LJ	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BE	ベルギー	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MA	モロッコ	TD	チャド
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MC	モナコ	TG	トーゴ
BJ	ベナン	GN	ギニア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BR	ブラジル	GW	ギニア・ビサウ	MG	マダガスカル	TZ	タンザニア
BY	ベラルーシ	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TM	トルクメニスタン
CA	カナダ	HR	クロアチア		共和国	TR	トルコ
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	ML	マリ	TT	トリニダード・トバゴ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CH	スイス	IE	アイルランド	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MW	マラウイ	US	米国
CM	カメルーン	IN	インド	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CN	中国	IS	アイスランド	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	YU	ユーゴスラビア
CU	キューバ	JP	日本	NO	ノルウェー	ZA	南アフリカ共和国
CY	キプロス	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド	ZW	ジンバブエ
CZ	チェッコ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		
DK	デンマーク	KR	韓国	RO	ルーマニア		

## 明 細 書

## 3次元探索方法、3次元ボクセルデータ表示方法及びそれらの装置

## 5 技術分野

本発明は、媒質中の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を媒質中へ放射し、この媒質中に存在する物体からの反射信号を受信し、受信された受信信号を信号処理して、媒質中に存在する物体の位置を探索する3次元探索方法及び装置、または、媒質表面から媒質中へ放射した波動信号の反射信号強度に基づいて媒質表面上の位置（ $x$ ， $y$ ）と反射時間  $t$  を座標（ $x$ ， $y$ ， $t$ ）として生成された3次元ボクセルデータを表示する3次元ボクセルデータ表示方法及び装置に関する。

## 背景技術

15      このような3次元探索にあたっては、電磁波の反射を用いて地中にある埋設物または空洞を探索する3次元探索装置が使用される。

従来技術の典型例として、昭和63年電気学会全国大会1372ページ「地中埋設物探索レーダシステム（その3）3次元探索画像処理」が知られている。

この技術（第1従来技術）では、複数回の走査による測定断面情報を用い、複数のすべての断面画像中の同一位置に埋設物の像が得られたときには、管が埋設されているものと判断し、またそれよりも少ない数の断面の同一位置に埋設物の像が得られるときには塊状物が埋設されたものと判断し、このようにして異なる断面に存在する像との結合是非を判断し、3次元構造を求める。

ここで、物体存否の判断基準となる2値化処理の閾値は、1種のみが使用されている。

上述した従来技術では、各断面のシンボル表示（例えば反射信号の強さによる物体の有無の2値化シンボル表示）を3次元的に連結しているので、シンボル化の際の閾値を如何に設定するかにより、パイプとして判断されるか、塊状物として判断されるかが大きく左右される。特に、地中探索の場合には  $S/N$  が低い

うえ、探査位置を変えると物体からの反射信号の強さが大きく変化する。従って、反射信号の強さにより 2 値化する場合、パイプが検出できるぐらいまで閾値を大きく下げると、不要反射信号などのノイズ領域が多量に発生してしまう。これは 2 値化する際に隣接する断面の情報を全く使用していないことに起因する。

- 5      更に、この従来技術では、埋設管が装置の走査方向に垂直に埋設されていることが予定されている。従って、かかる前提条件下では上記のようなシンボル化手法が有用であるが、埋設管が装置の走査方向に対して垂直に埋設されていない場合は、探査の信頼性が低くなるという問題がある。

- 10      また、3次元探査装置は地表面上の位置 (x, y) において、電磁波を地中に向けて放射し、埋設物からの反射信号を受信して、一定間隔の反射時間 t 毎の受信信号強度 s を測定する。従って、3次元探査装置の地表面上の位置 (x, y) を一定間隔の格子状に取れば、全てのボクセルにデータ値 (受信信号強度 s) が存在する完全な 3次元ボクセルセルデータ s (x, y, t) を構成することができる。しかし、3次元探査装置を地表面上で走査する場合、地表面が道路上である場合の実際の現場環境によっては、安全性或いは時間的制約から必ずしも正確な格子状の走査ができるとは限らないことから、反射時間 t 方向には密なデータを測定することができるが、x-y 平面内ではデータ値の存在するボクセルとデータ値の欠損したボクセルとが混在することになる。ここで、かかる 3次元ボクセルセルデータにおいて、データ値の存在するボクセルをソースボクセル、データ値の欠損したボクセルを欠損ボクセルと定義する。
- 15
- 20

- 25      従来、かかる 3次元ボクセルセルデータにおいて x-y 平面内で不均一に存在する欠損ボクセルを補間する方法が、第 2 従来技術として、ソースボクセルとの距離で補間の重み付けを行う方法が周知であった。この従来法では、欠損ボクセルとソースボクセル (ボクセル値 s) との距離を D とした場合に、以下の数式 1 で求められる値 s' で当該欠損ボクセルの補間を行う。

$$s' = (\sum D^{-E} s) / (\sum D^{-E}) \quad (1)$$

ここで、E は重み付けの程度を調整するためのもので、例えば、3.5 等の数

値が使用されるが、補間するデータの密度やボクセル値の分散に応じて適切な数値が用いられる。また、この補間は3次元的に行うことも可能であるが、反射時間  $t$  方向には密にデータが存在するため、 $x-y$  平面内での2次元データの補間として考え、求められた2次元平面上での重み付けを用いて、各反射時間  $t$  毎に

5 補間を行う方が計算量を大幅に低減することができる。

上記の従来法で3次元ボクセルデータの補間を行った場合、3次元的な補間であるか、2次元的な補間であるかに拘らず、以下の三つの問題点が生じる。

第一に、補間の対象となる一つの欠損ボクセルを基準としたときに、或る一つのソースボクセルへ向かう方向のやや遠い距離に他のソースボクセルが存在し、  
10 この二つのソースボクセルのデータ値が大きく異なる場合（例えば、正負の符号が異なる場合等）、補間される欠損ボクセルの値が距離の遠い側のソースボクセルにも依存してしまうという問題がある。

第二に、方向性を考慮せずに距離のみで補間を行うために、補間値の信頼性の低い外挿処理も行われてしまうという問題がある。

15 第三に、欠損ボクセルの近くにソースボクセルがない場合、遠く離れたソースボクセルのデータ値を用いて無理やり補間してしまうため補間値の精度が著しく低下するという問題がある。

この第一と第二の問題点を解決する方法として、ソースボクセルの  $x-y$  平面内での2次元分布からドゥローネー三角形分割図を計算により求め、各三角形の内部にある欠損ボクセルに対して、その三角形の頂点にあるソースボクセルのデータ値により、その距離に応じた重み付けで内挿処理を行い補間するという第二の従来法がある。しかしながら、このドゥローネー三角形分割図を計算により求める場合、例えば、ソースボクセルの  $x-y$  平面内での2次元分布の個数を  $n$  としたとき、 $n^2$  から  $n^3$  のオーダーという膨大な計算量が必要となる問題があり、  
20 また、前記第三の問題点は解決されずに依然として存在している。

更に、第3従来技術として、上記の3次元ボクセルデータ表示は、例えば、地中埋設物探査においては、地表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を地中へ放射し、地中に存在する物体からの反射信号を受信し、その受信した反射信号強度に対する地表面上の位置  $(x, y)$  と反射時間  $t$  を座標  $(x, y, t)$

t) とする 3 次元ボクセルデータを生成し、通常、かかる 3 次元ボクセルデータを垂直あるいは水平断面に沿って得られる画像を多数表示し、これらを比較検証するという手間並びに熟練度を要する膨大な作業を行なっていた。例えば、第 1 3 図に示す埋設状況における 3 次元ボクセルデータを水平断面に沿って表示した画像表示例を第 2 6 図に示す。この断面表示の場合、一定の深さの断面しか表示できないため、他の深さの埋設物の様子を把握するためには、深さを変えて再表示しなければならない。

上記した第 3 従来技術の問題を解決すべく、第 4 従来技術として、3 次元データの全情報を如何に 2 次元画像として表示するかという手法が、電子情報通信学会論文誌 D (Vol. J71-D No. 10 pp. 2002-2009) の「雪中レーダシステムのための 3 次元データ表示方法」において提案されている。

上記第 4 従来技術の中の表面表示型という手法を、第 1 3 図に示す埋設状況における 3 次元ボクセルデータに適用した表示例を第 2 7 図～第 2 9 図に示す。この場合、適切な閾値を探る目的で閾値を、第 2 7 図、第 2 8 図、第 2 9 図の順に高中低と変化させたものを 3 通り示している。これより、閾値が高いときは埋設物からの反射信号が途切れて断続的になり埋設物が判別しにくく、また、閾値が低いときは、信号強度の弱い反射信号まで表示できるものの、反射信号自体の S/N 比が低いためノイズ成分も同時に表示され視認性が悪化することが分かる。

次に、超音波診断等でも用いられている上記第 4 従来技術の中の積分型という手法を、同じく第 1 3 図に示す埋設状況における 3 次元ボクセルデータに対して反射時間 t 軸方向に適用した表示例を第 3 0 図に示す。この場合も、反射信号自体の S/N 比が低く、埋設物の領域が探査領域全体に対して比較的小さいため、積分効果によりコントラストが低下してしまい、視認性が悪い。他にも、差分和型、積和型等も提案されているが、これらの手法では隣接値との差分を用いるため、S/N 比の低いデータの場合には細かいノイズが強調されてしまうという問題がある。

本発明は、かかる実情に鑑みてなされたものであり、その第一の目的は、隣接する断面（ボクセル）の値を使用する 3 次元処理と人為的操作の効果的な介在によって、地中の埋設物の位置を高い S/N で検出することであり、また、その第

二の目的は、3次元ボクセルデータにデータの欠損するボクセルが存在する場合に、かかる欠損ボクセルを簡易的に補間する方法或いは手段を提供することにより、地中の埋設物の位置を高効率且つ高精度で検出することであり、更に、その第三の目的は、S/N比の低い3次元ボクセルデータに対しても、簡単な2次元画像表示で、媒質中に存在する物体等の把握を容易且つ的確にできる3次元ボクセルデータ表示方法及び装置を提供することである。

#### 発明の開示

上記第一の目的を達成するための本発明に係る3次元探索方法の特徴構成は、  
10 以下の第一乃至第七の特徴構成である。

第一の特徴構成は、媒質の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を前記媒質中へ放射し、前記媒質中に存在する物体からの反射信号を受信する送受信工程と、受信信号強度に対する前記媒質表面上の位置(x, y)と反射時間tを座標(x, y, t)とする3次元ボクセルデータを生成する3次元ボクセルデータ生成工程とを順次実行し、前記媒質中に存在する物体の位置を探索する3次元探索方法において、前記3次元ボクセルデータ生成工程で生成された前記3次元ボクセルデータに対して、1つ以上の物体ボクセルを人為的操作入力に従って選択する物体ボクセル選択工程と、振幅値の極性が正負何れか一方でその絶対値が所定の閾値より大きいボクセルが相互に接続してなる候補ボクセル群を  
15 抽出する2値化工程と、前記2値化工程において抽出された前記候補ボクセル群の中から前記物体ボクセル選択工程において選択された前記物体ボクセルに連結する連結候補ボクセル群を抽出し、その連結候補ボクセル群を前記物体ボクセルと合成して物体ボクセル群とする連結合成工程とを実行する点にある。

この特徴構成によれば、前記物体ボクセル選択工程と前記2値化工程と前記連結合成工程とを実行して、反射信号強度の弱い不要反射信号等の物体からの反射信号である可能性の低いノイズ領域を包含する前記候補ボクセル群の中から、物体からの反射信号である可能性の高い物体ボクセルに連結した連結候補ボクセル群のみを抽出し、これを物体ボクセルに連結合成し、物体ボクセル群とすることによって、前記閾値の設定を低くしても、それに伴って多量に発生する前記ノイ  
25

ズ領域を前記物体ボクセル群と区別して効果的に除外できるため、前記閾値を単純に高く設定することで物体からの反射信号である可能性の高い物体ボクセルが不必要に欠落してしまうのを防止でき、高S/Nでの探査が可能となる。

また、探査位置を変えると物体からの反射信号強度が大きく変化するような場合であっても、物体の一部である前記物体ボクセルを人為的操作により先ず選択することで、それに連続する物体ボクセル群を適切に抽出できるため、埋設管のような連続的な物体を抽出できる。

更に、このような連結合成工程の処理は、3次元的に行うことができるため、装置の走査方向に対して垂直に埋設されていない埋設管等を対象とする場合であっても、良好な探査結果を得ることができる。

第二の特徴構成は、前記2値化工程で使用する前記所定の閾値を、前記物体ボクセル選択工程において選択された前記物体ボクセルの振幅値に基づいて設定する点にある。

ところで、物体の媒質表面までの距離つまり埋設物の場合では埋設深さに依存して反射信号強度が相対的に変化するため、その距離が短い領域を探査する場合は、前記閾値を高く設定して効果的にノイズ成分を除去し、逆にその距離が長い領域を探査する場合は、前記閾値を低く設定して物体ボクセルの欠落を防止する必要がある。

従って、上記第二の特徴構成によれば、前記2値化工程で使用する前記所定の閾値は、前記物体ボクセル選択工程において選択された前記物体ボクセルの振幅値に基づいて設定されるため、前記物体ボクセルの振幅値が大きい場合は、物体の媒質表面までの距離が短いと判断して、前記閾値を大きく設定することができ、また、その逆の設定も可能となる。この結果、前記物体ボクセルの選択によって、その物体ボクセルに対応する物体を高S/Nで抽出するのに適した閾値の設定が可能となり、更には、自動的に当該閾値の設定を行うこともできる。

更に、前記物体ボクセルの振幅値の極性に合わせて前記2値化工程での候補ボクセル群の極性を設定した場合、その極性に応じて前記閾値を変化させる必要がある。例えば、振幅値のゼロ値がオフセットしている場合等においても、前記物体ボクセルの振幅値の極性に基づいて前記閾値を適正に調整することができる。



第三の特徴構成は、前記物体ボクセル選択工程において、前記 3 次元ボクセルデータ生成工程で生成された前記 3 次元ボクセルデータを断面表示し、その表示された断面上の座標点を指定することにより、前記 1 つ以上の物体ボクセルを選択する点にある。

- 5       この特徴構成によれば、前記 3 次元ボクセルデータから前記物体ボクセルを選択する際に、指定するボクセルを所定の断面上に限定するため、通常の CRT モニタや液晶表示パネル等の 2 次元平面の計算機画面表示とマウスやキーボード入力によるカーソル操作等の計算機入力操作で、容易に前記物体ボクセル選択工程が実行できる。
- 10       第四の特徴構成は、前記 3 次元ボクセルデータ生成工程で生成された前記 3 次元ボクセルデータに対して、前記媒質表面上の位置 (x, y) 毎に反射時間 t 軸方向における振幅値の絶対値の最大値及びその最大値をとる反射時間  $t_{MAX}$  を抽出する最大値抽出工程と、前記最大値抽出工程で抽出された前記媒質表面上の位置 (x, y) 毎の前記最大値と前記反射時間  $t_{MAX}$  を夫々所定の反射時間 t の
- 15       x - y 平面上に配置する平面配置工程を実行し、前記物体ボクセル選択工程において、前記最大値を配置した前記 x - y 平面を表示し、その表示された平面上の座標点を指定して、その指定された座標点とそれに対応する反射時間  $t_{MAX}$  とで特定することにより、前記 1 つ以上の物体ボクセルを選択する点にある。

- この特徴構成によれば、前記 3 次元ボクセルデータに対して、前記媒質表面上
- 20       の位置 (x, y) 毎に反射時間 t 軸方向における振幅値の絶対値の最大値及びその最大値をとる反射時間  $t_{MAX}$  を抽出し、抽出された前記媒質表面上の位置 (x, y) 毎の前記最大値と前記反射時間  $t_{MAX}$  を前記 3 次元ボクセルデータ内外の所定の x - y 平面上に夫々配置し、前記媒質表面上の位置 (x, y) 毎の最大値に対して断面表示を行なうことができる。この単一の断面表示 (x - y 平面表示)
- 25       により、種々の深さ (反射時間 t) の断面表示を複数行なわなくても、全ての深さの埋設物の平面配置の様子が分かり、容易且つ迅速に前記物体ボクセルの選択つまり埋設物の抽出ができる。

第五の特徴構成は、上記第三または第四の特徴構成に加えて、前記物体ボクセル選択工程において、前記指定された座標点近傍にあつて、その座標点の振幅値

と同符号でその絶対値が最大の振幅値を有する座標点を前記指定された座標点と置換することにより、前記1つ以上の物体ボクセルを選択する点にある。

この特徴構成によれば、前記3次元ボクセルデータから前記物体ボクセルを選択する際に、オペレータ等がマウス操作等の計算機入力操作を誤って本来指定すべき物体ボクセルを指定できずに、その近傍のボクセルを指定した場合であっても、本来指定すべき反射信号強度の大きい物体ボクセルを正しく選択することができる。

第六の特徴構成は、前記3次元ボクセルデータ若しくは前記候補ボクセル群若しくは前記物体ボクセル群に対して合成開口処理若しくはマイグレーション処理を施す点にある。

この特徴構成によれば、合成開口処理若しくはマイグレーション処理を施すことによって、媒質表面に平行な $(x, y)$ 面内の分解能を向上することができる。

ここで、反射信号の生データから構成される原3次元ボクセルデータに、合成開口処理若しくはマイグレーション処理を施し、得られた3次元ボクセルデータに対して2値化処理を行う場合は、3次元ボクセルデータが、物体の埋設状況等に近似できるデータ（深度スケールに変換された情報）となるため、これを見ながら前記閾値を設定して解析を進めることができ、使用勝手が向上する。

第七の特徴構成は、前記3次元ボクセルデータ生成工程で、前記3次元ボクセルデータの反射時間 $t$ 軸方向に対してウィナーフィルタ処理若しくは振幅補正処理を施し、処理前の原3次元ボクセルデータと置換する点にある。

この特徴構成のウィナーフィルタ処理を施すことによって、反射時間 $t$ 軸方向の分解能が向上する。また、振幅調整処理を施すことによって、反射時間の遅い弱い反射信号の振幅を強調することができる。

また、上記第一の目的を達成するための本発明に係る3次元探査装置の特徴構成は、以下の第八及び第九の特徴構成である。

第八の特徴構成は、媒質の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を前記媒質中へ放射し、前記媒質中に存在する物体からの反射信号を受信する送受信手段と、前記送受信手段で得られた受信信号から、受信信号強度に対する前記媒質表面上の位置 $(x, y)$ と反射時間 $t$ を座標 $(x, y, t)$ とする3

次元ボクセルデータを生成する 3 次元ボクセルデータ生成手段とを備え、前記媒質中に存在する物体の位置を探索する 3 次元探索装置において、前記 3 次元ボクセルデータ生成手段により生成された前記 3 次元ボクセルデータに対して、1 つ以上の物体ボクセルを人為的操作入力に従って選択する物体ボクセル選択手段と、

5 振幅値の極性が正負何れか一方でその絶対値が所定の閾値より大きいボクセルが相互に接続してなる候補ボクセル群を抽出する 2 値化手段と、前記 2 値化手段により抽出された前記候補ボクセル群の中から前記物体ボクセル選択手段によって選択された前記物体ボクセルに連結する連結候補ボクセル群を抽出し、その連結候補ボクセル群を前記物体ボクセルと合成して物体ボクセル群とする連結合成手段とを備えてなる点にある。

10

この特徴構成によれば、前記 3 次元ボクセルデータ生成手段により生成された 3 次元ボクセルデータを対象として、前記 2 値化手段が抽出した反射信号強度の弱い不要反射信号等の物体からの反射信号である可能性の低いノイズ領域を包含する前記候補ボクセル群の中から、物体からの反射信号である可能性の高い前記

15 物体ボクセル選択手段によって選択した前記物体ボクセルに連結した連結候補ボクセル群のみを前記連結合成手段が抽出し、更に、これを物体ボクセルに連結合成し物体ボクセル群とすることによって、前記閾値の設定を低くしても、それに伴って多量に発生する前記ノイズ領域を前記物体ボクセル群と区別して効果的に除外できるため、前記閾値を単純に高く設定することで物体からの反射信号である可能性の高い物体ボクセルが不必要に欠落してしまうのを防止でき、高 S/N

20 での探索が可能な 3 次元探索装置が提供できるのである。

更に、この特徴構成により、上記第一の特徴構成の本発明に係る 3 次元探索方法を使用することができるため、上記第一の特徴構成の作用効果を発揮することができる。

25 第九の特徴構成は、前記物体ボクセル選択手段は、前記 3 次元ボクセルデータ生成手段によって生成された前記 3 次元ボクセルデータの任意の断面を人為的操作入力に従って選択表示する断面表示手段と、その表示された断面上の座標点を所定の人為的操作入力に従って指定可能な断面座標点指定手段とを備えている点にある。

この特徴構成によれば、前記断面表示手段によって前記 3 次元ボクセルデータ生成手段によって生成された前記 3 次元ボクセルデータの任意の断面を人為的操作により選択して表示でき、更に、前記断面座標点指定手段によってその表示された断面上の座標点を所定の人為的操作により指定できるため、前記 3 次元ボクセルデータから前記物体ボクセルを選択する際に、指定するボクセルを所定の断面上に限定することができ、通常の CRT モニタや液晶ディスプレイ等の 2 次元平面の計算機画面表示とマウスやキーボード入力によるカーソル操作等の計算機入力操作で、容易に前記物体ボクセル選択工程が実行できる。

また、上記第四の特徴構成による前記最大値を配置した前記  $x-y$  平面は、前記 3 次元ボクセルデータの内外に配置されることで、前記 3 次元ボクセルデータの一部に含まれるか、或いは、前記 3 次元ボクセルデータの領域を実質的に反射時間  $t$  軸方向に拡張する。従って、前記最大値を配置した前記  $x-y$  平面は、前記断面表示手段により前記 3 次元ボクセルデータの一断面として表示される。

上記第二の目的を達成するための本発明に係る 3 次元探索方法の特徴構成は、以下の第十乃至第十二の特徴構成である。

第十の特徴構成は、媒質の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を前記媒質中へ放射し、前記媒質中に存在する物体からの反射信号を受信する送受信工程と、受信信号強度に対する前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  と反射時間  $t$  を座標  $(x, y, t)$  とする 3 次元ボクセルデータを生成する 3 次元ボクセルデータ生成工程とを順次実行し、前記媒質中に存在する物体の位置を探索する 3 次元探索方法において、前記 3 次元ボクセルデータ生成工程で生成された前記 3 次元ボクセルデータがデータの欠損したボクセルを有する場合、その欠損ボクセルに対してその欠損ボクセルを含む  $x-y$  平面内の所定方向に 1 次元線形補間を施す線形補間工程を実行する点にある。

この特徴構成によれば、1 次元線形補間は二つのソースボクセルの間を線形補間して、その間の欠損ボクセルを補間するため、欠損ボクセルから一つのソースボクセルを見た場合に同方向に他のソースボクセルが存在していても、補間の結果が、遠い方のソースボクセルのデータ値によって影響されることは全くない。同様の原理から、信頼性の低い外挿処理が実行されることもない。また、ソース

ボクセルの  $x-y$  平面内での 2 次元分布の個数を  $n$  としたとき、計算量は  $n$  のオーダーになるため、処理時間を大幅に短縮することができる。

この結果、補間値の信頼性のある程度維持しながら、欠損ボクセルを高速で補間できるため、媒質表面上における制約により完全な 3 次元ボクセルデータの生成が困難な状況であっても、高効率且つ高精度で埋設物の探査が可能となる。

第十一の特徴構成は、1 次元線形補間を行う方向を変更して前記線形補間工程を 2 回以上実行する点にある。

この特徴構成によれば、ソースボクセルの  $x-y$  平面内での 2 次元分布がランダムであっても、最終的に欠損ボクセルを余すことなく十分密に補間することができる。

第十二の特徴構成は、前記線形補間工程において、1 次元線形補間を行う方向に前記欠損ボクセルが連続して存在する距離が、前記波動信号の前記媒質中における波長以下の場合に、前記 1 次元線形補間を行う点にある。

この特徴構成によれば、1 次元線形補間を行う際に、精度良く線形補間を行うには遠く離れ過ぎた二つのソースボクセル間での補間処理が適度に制限されるため、精度の悪い補間が無闇に実行されるのを防止でき、かかる欠損ボクセルが欠損ボクセルとして認識されることで、測定不能領域が明確になり、その分、測定可能領域における探査精度の向上が図れるのである。また、上記第十一の特徴構成との組み合わせにおいては、ある方向での 1 次元線形補間が不能であっても、別の方向での 1 次元線形補間が可能な場合があり得るため、敢えて精度の悪い補間が実行されるのが防止でき、探査精度の向上が図れる。

尚、1 次元線形補間を行うか否かの判定において、前記波動信号の媒質中における波長を使用する根拠は、専ら実験結果に基づくものである。

上記第二の目的を達成するための本発明に係る 3 次元探査装置の特徴構成は以下の第十三の特徴構成である。

第十三の特徴構成は、媒質の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を前記媒質中へ放射し、前記媒質中に存在する物体からの反射信号を受信する送受信手段と、前記送受信手段で得られた受信信号から、受信信号強度に対する前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  と反射時間  $t$  を座標  $(x, y, t)$  とする

3次元ボクセルデータを生成する3次元ボクセルデータ生成手段とを備え、前記媒質中に存在する物体の位置を探索する3次元探索装置において、前記3次元ボクセルデータ生成手段により生成された前記3次元ボクセルデータがデータの欠損したボクセルを有する場合、その欠損ボクセルに対してその欠損ボクセルを含む $x-y$ 平面内の所定方向に1次元線形補間を施す線形補間手段を備えてなる点

5 にある。

この特徴構成によれば、前記線形補間手段が $x-y$ 平面上の所定の一方方向に1次元線形補間を行うことにより、上記第十の特徴構成における線形補間工程が実行され、前記線形補間手段が $x-y$ 平面上の第一の方向に1次元線形補間を行い、

10 1次元線形補間を行う方向を変更して再度1次元線形補間を行い、必要に応じて、同じ要領で1次元線形補間を繰り返すことにより、上記第十一の特徴構成における線形補間工程が実行されるため、上記第十の特徴構成、または、第十及び第十一の特徴構成と同じ作用効果を奏することができるのである。

上記第三の目的を達成するための本発明に係る3次元ボクセルデータ表示方法

15 の特徴構成は、以下の第十四乃至第二十の特徴構成である。

第十四の特徴構成は、媒質表面から媒質中へ放射した波動信号の反射信号強度に基づいて前記媒質表面上の位置 $(x, y)$ と反射時間 $t$ を座標 $(x, y, t)$ として生成された3次元ボクセルデータの表示方法であって、前記3次元ボクセルデータに対して、前記媒質表面上の位置 $(x, y)$ 毎に反射時間 $t$ 軸方向にお

20 ける振幅値の最大絶対値を抽出する最大絶対値抽出工程と、前記最大絶対値抽出工程で抽出された前記媒質表面上の位置 $(x, y)$ 毎の前記最大絶対値を所定平面上に配置する平面配置工程と、前記所定平面上に配置された前記最大絶対値を表示する平面表示工程を実行する点にある。

この特徴構成によれば、3次元ボクセルデータに対して、各媒質表面上の位置

25  $(x, y)$ 毎に反射時間 $t$ 軸方向における振幅値の最大絶対値を抽出し、各媒質表面上の位置 $(x, y)$ 毎の前記最大絶対値を所定平面上に配置して表示する。従って、3次元ボクセルデータのSN比が低く、媒質中の物体の領域が探索領域全体に対して比較的小さくても、強い反射信号の領域が局所的に存在すれば、高いコントラストで表示されるため、物体の平面配置を高い視認性で容易に把握す

ることができるようになる。

第十五の特徴構成は、前記最大絶対値抽出工程で抽出された前記最大絶対値の中から最大値と最小値を求め、その最大値と最小値が夫々表示階調の上限及び下限となるように前記最大絶対値を正規化する点にある。

- 5      この特徴構成によれば、各媒質表面上の位置 (x, y) 毎の前記最大絶対値を所定平面上に配置して表示する際に、前記最大絶対値の中から最大値と最小値を求め、その最大値と最小値が夫々表示階調の上限及び下限となるように前記最大絶対値の正規化を行なうため、更にコントラストを高め、視認性を向上することができる。

- 10      第十六の特徴構成は、前記最大絶対値抽出工程において、前記媒質表面上の位置 (x, y) 毎に前記最大絶対値を抽出する際に、その最大絶対値をとる反射時間  $t_{MAX}$  も併せて抽出する点にある。

この特徴構成によれば、各媒質表面上の位置 (x, y) 毎に反射時間  $t$  軸方向における振幅値の最大絶対値を抽出する際に、その最大絶対値をとる反射時間

- 15       $t_{MAX}$  も併せて抽出するため、強い信号を反射する物体領域がどの反射時間  $t$  (媒質表面からの距離、地中埋設物探査の場合では埋設深さに相当。) に存在するかを容易に把握することができる。

第十七の特徴構成は、前記最大絶対値抽出工程において、前記媒質表面上の位置 (x, y) 毎に前記最大絶対値を抽出する際に、反射時間  $t$  の所定範囲内にあ

- 20      る振幅値を除外する点にある。

この特徴構成によれば、各媒質表面上の位置 (x, y) 毎に反射時間  $t$  軸方向における振幅値の最大絶対値を抽出する際に、反射時間  $t$  の所定範囲内にある振幅値を除外するため、地中探査の場合では地表付近や地下水面等の媒質中の反射信号強度が極端に強くなる領域を除外することができ、その結果、媒質中の物体

25      領域 (地中埋設物探査の場合では埋設物領域) に対する視認性を向上させることができる。

第十八の特徴構成は、前記最大絶対値抽出工程において、前記媒質表面上の位置 (x, y) 毎に前記最大絶対値を抽出する際に、振幅値の極性が正または負の何れか一方のボクセルのみを対象とする点にある。

この特徴構成によれば、各媒質表面上の位置（ $x$ ， $y$ ）毎に反射時間  $t$  軸方向における振幅値の最大絶対値を抽出する際に、振幅値の極性が正または負の何れか一方のボクセルのみを対象とすることによって、媒質中の物体からの反射信号の S/N 比の高い方の極性の振幅値についてのみ抽出するため、媒質中の物体領域  
5 に対する視認性が向上する。これは、地中埋設物探査の場合、放射信号の埋設物での反射係数が埋設物の材質によってその極性が異なることによるもので、例えば、金属管の場合は反射係数が負で、樹脂管や空洞の場合は正の反射係数となる。

第十九の特徴構成は、前記最大絶対値抽出工程前に、前記反射信号強度からなる 3 次元ボクセルデータに対して合成開口処理若しくはマイグレーション処理を  
10 施して、表示対象となる前記 3 次元ボクセルデータを生成する点にある。

この特徴構成によれば、合成開口処理若しくはマイグレーション処理を施すことによって、媒質表面に平行な（ $x$ ， $y$ ）面内の分解能が向上する。また、反射信号強度の生データから構成される原 3 次元ボクセルデータに、合成開口処理若しくはマイグレーション処理を施して得られた 3 次元ボクセルデータは、物体の  
15 埋設状況等に近似できるデータ（深度スケールに変換された情報）となるため、視認性が一層向上する。

第二十の特徴構成は、前記合成開口処理若しくはマイグレーション処理を複数の媒質中の伝搬速度で実行して、前記伝搬速度毎に前記 3 次元ボクセルデータを生成し、前記伝搬速度毎の前記各 3 次元ボクセルデータに対して、前記最大絶対  
20 値抽出工程と前記平面配置工程と前記平面表示工程を各別に行ない、前記各伝搬速度毎の前記平面表示工程における前記 3 次元ボクセルデータの表示結果から、適切な伝搬速度による処理結果を選択する点にある。

この特徴構成によれば、複数の媒質中の伝搬速度を用いて前記合成開口処理若しくはマイグレーション処理を実行して、伝搬速度毎に生成した 3 次元ボクセル  
25 データを平面表示工程において表示し、その表示結果のフォーカスの良さを判断することにより、媒質中の伝搬速度が未知な場合であっても、容易に適切な伝搬速度による処理結果を選択することが可能となるので、媒質表面に平行な（ $x$ ， $y$ ）面内における高い分解能を確保することができる。

上記第三の目的を達成するための本発明に係る 3 次元ボクセルデータ表示装置



の特徴構成は以下の第二十一の特徴構成である。

第二十一の特徴構成は、媒質表面から媒質中へ放射した波動信号の反射信号強度に基づいて前記媒質表面上の位置（ $x$ ， $y$ ）と反射時間  $t$  を座標（ $x$ ， $y$ ， $t$ ）として生成された 3 次元ボクセルデータを表示する 3 次元ボクセルデータ表示装置であって、前記 3 次元ボクセルデータに対して、前記媒質表面上の位置（ $x$ ， $y$ ）毎に反射時間  $t$  軸方向における振幅値の最大絶対値を抽出する最大絶対値抽出手段と、前記最大絶対値抽出手段で抽出された前記媒質表面上の位置（ $x$ ， $y$ ）毎の前記最大絶対値を所定平面上に配置する平面配置手段と、前記所定平面上に配置された前記最大絶対値を表示する平面表示手段とを備えてなる点にある。

この 3 次元ボクセルデータ表示装置は上記第十四から第二十の特徴構成による夫々の 3 次元ボクセルデータ表示方法に使用可能であり、その基本的作用効果は上記第十四の特徴構成による 3 次元ボクセルデータ表示方法の作用効果と共通する。

#### 図面の簡単な説明

第 1 図は、3 次元探査装置のブロック構成図であり、

第 2 図は、送信信号と受信信号の波形説明図であり、

第 3 図は、第 1 実施形態に係るデータ解析装置の機能ブロック図であり、

第 4 図は、第 1 実施形態のデータ処理手順を示すフローチャートであり、

第 5 図は、第 1 実施形態のデータ処理手順に使用した探査データを採取した場所の埋設状況を示す説明図であり、

第 6 図は、第 1 実施形態のデータ処理手順に使用した探査データ（マイグレーション処理前の原 3 次元ボクセルデータ）を模擬的に示す説明図であり、

第 7 図は、第 1 実施形態のデータ処理手順に使用した探査データ（マイグレーション処理後の 3 次元ボクセルデータ）を通常の 2 値化処理を施して得られた結果を模擬的に示す説明図であり、

第 8 図は、第 1 実施形態のデータ処理手順に使用した探査データから得られた処理結果（マイグレーション処理後の 3 次元ボクセルデータの断面）を模擬的に

示す説明図であり、

第 9 図は、第 1 実施形態のデータ処理手順に使用した探索データから得られた物体ボクセルの属性値を示す説明図であり、

5 第 10 図は、第 1 実施形態のデータ処理手順に使用した探索データから得られた処理結果（抽出された物体ボクセル群）を模擬的に示す説明図であり、

第 11 図は、第 1 実施形態に対する別実施形態における、本発明のデータ処理手順に使用した探索データから得られた処理結果（マイグレーション処理後の 3 次元ボクセルデータに対して、最大値抽出工程と平面配置工程を実行した後の断面）を模擬的に示す説明図であり、

10 第 12 図は、第 2 実施形態に係るデータ解析装置の機能ブロック図であり、

第 13 図は、第 2 実施形態及び第 3 実施形態のデータ処理手順に使用した探索データを採取した場所の埋設状況を示す説明図であり、

第 14 図は、第 2 実施形態のデータ処理手順に使用した探索データを採取した時の 3 次元探索装置の移動経路を示す説明図であり、

15 第 15 図は、第 2 実施形態のデータ処理手順を示すフローチャートであり、

第 16 図は、第 2 実施形態において、探索データ（原 3 次元ボクセルデータ）をそのままマイグレーション処理した結果を 3 次元可視化した図であり、

第 17 図は、第 2 実施形態において、探索データ（原 3 次元ボクセルデータ）に対して線形補間工程を実行してからマイグレーション処理した結果を 3 次元可  
20 視化した図であり、

第 18 図は、第 2 実施形態において、異なる条件で線形補間工程を行った後のマイグレーション処理結果を示す説明図であり、

第 19 図は、第 3 実施形態に係るデータ解析装置の機能ブロック図であり、

第 20 図は、第 3 実施形態の 3 次元ボクセルデータ表示方法を示すフローチャ  
25 ートであり、

第 21 図は、第 3 実施形態の 3 次元ボクセルデータ表示方法により得られた処理結果を示す表示画像例であり、

第 22 図は、第 3 実施形態の別実施形態による 3 次元ボクセルデータ表示方法により得られた処理結果を示す表示画像例であり、

第 2 3 図は、第 3 実施形態の他の別実施形態による 3 次元ボクセルデータ表示方法により得られた処理結果を示す表示画像例（地中の比誘電率は 4）であり、

第 2 4 図は、第 3 実施形態の他の別実施形態による 3 次元ボクセルデータ表示方法により得られた処理結果を示す表示画像例（地中の比誘電率は 9）であり、

5 第 2 5 図は、第 3 実施形態の他の別実施形態による 3 次元ボクセルデータ表示方法により得られた処理結果を示す表示画像例（地中の比誘電率は 1 9）であり、

第 2 6 図は、第 3 実施形態に対する従来技術の一水平断面における処理結果を示す表示画像例であり、

10 第 2 7 図は、第 3 実施形態に対する従来技術の表面表示型で表示した場合の処理結果を示す表示画像例であり、

第 2 8 図は、第 3 実施形態に対する従来技術の表面表示型で表示した場合の処理結果を示す表示画像例であり、

第 2 9 図は、第 3 実施形態に対する従来技術の表面表示型で表示した場合の処理結果を示す表示画像例であり、

15 第 3 0 図は、第 3 実施形態に対する従来技術の積分型で表示した場合の処理結果を示す表示画像例である。

発明を実施するための最良の形態

以下に本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

20 [第 1 実施形態]

第 1 図に示すように、本発明に係る 3 次元探査装置の一実施の形態は、送受信手段である送受信機 1 0 と、送受信機 1 0 で得られた信号を処理するデータ解析装置 2 0 とを、主な機器として備えて構成されている。そして、本願にあっては、データ解析装置 2 0 における解析処理にその特徴がある。

25 第 1 図に示すように、媒質である土壌 1 にガス等の流体を配送する鋼管などの物体 2 が埋設されており、送受信機 1 0 とデータ解析装置 2 0 を備えた探査装置 3 が地表面を移動しながら、物体 2 の埋設位置を探査する。その移動方向は、第 1 図の表示例では x 方向である。そして、本願のように 3 次元ボクセルデータを得る場合は、x 方向のデータの収集を終了した後、y 方向（第 1 図の表裏方向）

に所定量の移動を繰り返しながら、 $x$  方向データを逐次、収集する。尚、第 1 図に示す物体 2 は、探査対象である物体を模式的に例示したものであり、例えば、第 5 図または第 13 図に示すような埋設状況における埋設管 50 の一部を示すものである。

- 5      送受信機 10 は、例えば  $100\text{MHz} \sim 1\text{GHz}$  の第 2 図 (B) (1) に例示する単発のパルス信号を送信回路 13 で発生し、送信アンテナ 11 より電磁波として土壌 1 に放射する。例えば、第 2 図 (A) に例示するように物体 2 表面上を移動した場合、送信アンテナ 11 より放射された電磁波の中の土壌に入射した入射波 4 は物体 2 表面で反射散乱し、その中の反射波 5 が受信アンテナ 12 で受信
- 10    された後、受信回路 14 において、第 2 図 (B) (2) に例示するような受信信号として復調増幅される (この図において単一の線が一定位置で時間差を置いて受信される複数の受信信号群に対応する)。送信アンテナ 11 より放射され、受信アンテナ 12 で受信されるまでの時間差 (これが実質上の反射時間)  $t$  は土壌 1 の表面から物体 2 までの距離と土壌 1 の比誘電率  $\epsilon$  または電磁波の伝搬速度より一義的に決定される。
- 15

第 1 図に示す場合にあっては、送信アンテナ 11 と受信アンテナ 12 は一定間隔で地表面に対向して配置される。 $x$  方向移動は、物体 2 を横切るように行われることとなる。

- 第 1 図に示すように、送受信機 10 には、受信回路 14 の増幅部の利得を時間
- 20    差  $t$  に応じて変調する信号強度変調手段 15 が設けられており、時間差  $t$  が長くなるにつれて土壌 1 を伝搬するパルス信号の損失が大きくなり、受信信号強度が減衰するのを振幅補正し、時間差  $t$ 、つまりは反射時間  $t$  の増加に対して急激に減衰しない受信信号強度分布を得る構成とされている。この構成により、後の信号処理に必要な信号強度を確保できる。

- 25    次に、受信信号が送られるデータ解析装置 20 について、第 1 図及び第 3 図に基づいて説明する。

データ解析装置 20 は、マイクロコンピュータや半導体メモリ等によって構成されるデータ処理部 21 と、外部からの操作指示を入力するマウスやキーボード等の入力部 22 と、各処理段階での画像データや出力結果を表示する CRT モニ

タや液晶ディスプレイ等の表示部 2 3 を備えて構成されている。更に、各処理段階でのデータや出力結果等を保管格納する磁気ディスク等の外部補助記憶部 2 4 を備えている。

5 以上の 3 次元探査装置についての説明は、後述する第 2 及び第 3 実施形態とも共通する。次に、本発明の第一の目的を達成するための第 1 実施形態に特有の部分について説明する。

第 3 図に示すように、このデータ処理部 2 1 は、受信回路 1 4 から入力してくる受信信号を、媒質表面上の位置  $(x, y)$  と時間  $t$  との関係において整理、処理する 3 次元ボクセルデータ生成手段 3 1 を備えている。

10 この 3 次元ボクセルデータ生成手段 3 1 は、以降の処理で使用される 3 次元ボクセルデータを生成するためのものであり、受信信号強度  $s$  をそのまま媒質表面上の位置  $(x, y)$  と時間  $t$  との関数とする原 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  を生成する。更に、必要な場合、この原 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  は、マイグレーション処理されて、マイグレーション処理済の新たな 3 次元  
15 ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  が生成される。これらのデータは 3 次元構造を取るため、 $s(x, y, t)$ 、 $S(x, y, t)$  は共に、3 次元ボクセルデータに属し、3 次元ボクセルデータ生成手段 3 1 で生成されるデータ群である。

ここで、マイグレーション処理とは、媒質の表面において得られる移動方向情報（空間、深度 = 0、時間の情報）を、波の伝播を代表する波動方程式に基づいて、フーリエ、逆フーリエ変換手法を利用して媒質の深度方向の情報（空間、深  
20 度、時間 = 0 の情報）に変換する公知の手法である。

この手法は、空間座標として  $x$  方向のみを対象とする場合、 $x$  が媒質表面上の観測ライン、 $z$  が媒質中に向けて正の方向をとる深度、 $t$  が伝搬時間である場合、波動の場を  $u(x, z, t)$  で表し、 $u(x, z, t)$  を 3 次元フーリエ変換したものを  $U(\xi, \eta, \omega)$  とすると、マイグレーション法は  $t > 0$  に対して得られた観測データ  $u(x, 0, t)$ （レーダ画像）から時刻  $t = 0$  における深さ方向の場  $u(x, z, 0)$ （深度断面）を求めるものである。

即ち、マイグレーション法の一種であるフェーズ・シフト法では、以下のような処理を行う。

1. 観測されたデータを  $x$  と  $t$  に関して 2 次元フーリエ変換し  $U(\xi, 0, \omega)$  を求める。

2. 求めたい深度の 1 ラインを、 $U(\xi, 0, \omega)$  から求める。

3. 2. の計算を深度を更新しながら繰り返し、深度断面全体を求める。

5 一方、マイグレーション法の一種である F-K マイグレーション法では、以下のような処理を行う。

1. 観測されたデータを  $x$  と  $t$  に関して 2 次元フーリエ変換し  $U(\xi, 0, \omega)$  を求める。

2. 周波数領域上で深度断面のフーリエ変換の値を求める。

10 3. この値を、 $\xi, \eta$  に関して 2 次元逆フーリエ変換し、 $u(x, z, 0)$  を得る。

このようにして、 $t = 0$  における断面構造を得ることができる。ここでは、空間座標として  $x$  方向のみに関する説明をしたが、本願のように  $x, y$  方向を共に対象とする場合も同様に取扱うことができる。

15 この目的から、データ処理部 21 は、3 次元ボクセルの状態で作られているデータを、マイグレーション処理できるマイグレーション処理手段 32 を備えている。更に、マイグレーション処理の代わりに、同様に公知の方法である合成開口処理を施すものとしてもよい。この場合、マイグレーション処理手段 32 の代わりに合成開口処理手段が備えられることとなる。この状況を図に括弧書きで示した。

20 更に、このデータ処理部 21 は、3 次元ボクセルデータ生成手段 31 により生成された 3 次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  に対して、1 つ以上の物体ボクセルを人為的操作により選択する物体ボクセル選択手段 33、反射信号強度の振幅値の極性が正負何れか一方でその絶対値が所定の閾値より大きいボクセルが相互に接続してなる候補ボクセル群を 2 値化処理により抽出する 2 値化手段 34、  
25 2 値化手段 34 により抽出された候補ボクセル群の中から物体ボクセル選択手段 33 によって選択された物体ボクセルに連結する連結候補ボクセル群を抽出し、その連結候補ボクセル群を物体ボクセルと合成して物体ボクセル群とする連結合成手段 35、及び、出力処理手段 38 を備えている。

更に、物体ボクセル選択手段 3 3 は、3 次元ボクセルデータ生成手段 3 1 によって生成された 3 次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  の任意の断面をマウス等の入力部 2 2 から的人為的操作により選択して表示部 2 3 に表示する断面表示手段 3 3 a と、その表示された断面上の座標点をマウス等の入力部 2 2 から的人為的操作により指定して、その座標点におけるボクセルを物体ボクセルとして選択する断面座標点指定手段 3 3 b とを備えている。

次に、本発明に係る 3 次元探査方法の一実施形態を、第 4 図に示すデータ処理部 2 1 での典型的なデータ処理手順のフローチャートに従い、第 5 図に示す埋設状況に対して探査した処理結果を示しながら説明する。ところで、第 5 図に示す埋設状況では、マンホール 5 1 に接続する配管 5 2 とそれらを迂回する配管 5 3 等の埋設管 5 0 及びその他の塊状物 5 4 が土壌 1 の中に埋設されている。

#### 1. 3 次元ボクセルデータ生成工程 (ST1)

この工程は、3 次元探査装置 3 を移動しながら、データを収集し、これを処理して、以降の処理に使用される 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  若しくは  $S(x, y, t)$  を生成する工程である。この工程は、デジタル化された受信信号強度より、物体を含む土壌 1 の断面画像を、アンテナ 1 1 及び 1 2 の媒質表面上の位置  $(x, y)$  と反射波 5 の物体 2 からの反射時間  $t$  (実際は所定の入射信号を発振してから反射信号が受信アンテナにいたるまでの時間) を座標  $(x, y, t)$  とする原 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  として取り込む工程であり、ここで、受信信号はその強度に応じて複数階調で輝度表示され、信号強度の正值を白 (輝度大)、信号強度の負値を黒 (輝度小)、信号強度 0 を中間階調として取り込まれる。この階調は、具体的には、8 ビット (256) 階調で表現され、階調 128 が反射信号強度の振幅値 0 で、129 以上の階調で振幅値が正值で、127 以下の階調で振幅値が負値となっている。更に具体的には、デジタル化された受信信号は、A/D 変換処理されたときの量子化ビット幅で、媒質表面上の位置  $(x, y)$  と反射波 5 の物体 2 からの反射時間  $t$  で決定される座標  $(x, y, t)$  がアドレス信号としてエンコードされ、複数階調の原 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  としてデータ処理部内のメモリ 2 1 a の所定の領域に格納される。このようにして生成格納され

た原 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  に対して通常の 2 値化処理を施したものを、第 6 図に表示する。尚、第 6 図は実際の画面表示を模擬的に図案化したものである。また、実際には領域内の全てのボクセルが夫々の階調値を保持している。

- 5       次に、このようにして得られた原 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  がマイグレーション処理され、以降の処理の対象となる 3 次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  とされる。原 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  に対して、マイグレーション処理を施した 3 次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  を第 7 図に示す。尚、第 7 図は実際の画面表示を模擬的に図案化したものである。また、第 7 図では、3 次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  は通常の 2 値化処理を施されて表示されているが、実際には領域内のすべてのボクセルがそれぞれ階調値を保持している。第 7 図ではマイグレーション処理を施した場合を示したが、合成開口処理を施した場合も処理結果は、ほぼ同じようになる。

- 15       因みに、第 7 図 (A) は地表付近のマンホール 51 の反射信号を見るために、2 値化処理の閾値を階調 175 と高めに設定したもので、第 7 図 (B) は深い埋設管の反射信号を見るために、2 値化処理の閾値を階調 155 と低めに設定したものである。通常の 2 値化処理では、深度の異なる両方の反射信号を検出することは不可能であること、つまり、高い閾値では深い埋設管が検出できず、低い閾値ではノイズ領域が増えるとともに、地表付近の埋設物の反射信号が検出できなくなることが分かる。

20       このようにして得られたマイグレーション処理後の 3 次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  が原データ  $s(x, y, t)$  と置換され、3 次元ボクセルデータ生成手段 31 の出力として、以降の工程に引き渡される。

## 2. 物体ボクセル選択工程 (ST2)

- 25       第 8 図 (A)、(B) に示すように、断面表示手段 33a によってマイグレーション処理を施した 3 次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  が適当な反射時間  $T_D$  の  $x-y$  平面で断面表示され、オペレータがマウス等の入力部 21 から的人為的操作により、その表示断面上においてカーソル表示を移動させ、断面座標点指定手段 33b がそのカーソル位置に基づいてその断面上の平面座標



( $X_D$ ,  $Y_D$ ) を指定する。ここで、反射時間  $T_D$  の選択は、例えば、第 9 図に示す複数の物体ボクセルの各座標値を表す座標テーブルの  $T_1$  (一番目に選択された物体ブロックの反射時間座標値) のブロック表示をマウス等で選択して、  
5 キーボードからその値を入力して行うか、或いは、第 8 図 (A) に示す画面表示上で当該断面をマウス操作等で上下に移動させて行う。ここで、第 8 図 (A) は断面表示を斜視図で表示したものであり、第 8 図 (B) は同じ断面表示を地表面側から平面視した表示画面である。尚、第 8 図 (A)、(B) は本来は階調表示されるのであるが、本願の図面では高輝度部分は白色表示 (紙面地色)、低輝度部分は黒色表示 (高密度のドット表示) により模擬的に表示して  
10 いる。

次に、断面座標点指定手段 3 3 b が、前記指定により選択された座標 ( $X_D$ ,  $Y_D$ ,  $T_D$ ) のボクセルの近傍において、指定したボクセルの振幅値と同符号で且つ振幅値が最大のボクセルを検索し、物体ボクセルとする。ここで、前記検索の範囲は反射時間  $T_C$  の  $X-Y$  平面内の指定されたボクセルを中心とする  
15  $\pm 6$  ボクセルの正方形の範囲である。第 9 図に示す計算機画面表示に、このようにして選択された 10 個の物体ボクセルの座標値 ( $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $T_i$ )、 $i = 1 \sim 10$  及び階調値 ( $MAX_1 \sim 10$ ) が表示されている。

また、この実施例では、 $x-y$  平面で断面表示を行い反射時間  $T_D$  の  $x-y$  平面内で一定の正方形領域内で検索を行ったが、 $x-t$  平面や  $y-t$  平面或いは任意の方向の平面で断面表示を行っても構わない。また、検索領域も表示断面内の正方形領域に限らず、直方体やその他の任意形状のボクセル領域で検索してもよい。更には、例えば、オペレータが熟練者である場合等の条件下では、  
20 断面座標点指定手段 3 3 b は、前記検索処理を行わずに、前記指定により選択された座標 ( $X_D$ ,  $Y_D$ ,  $T_D$ ) のボクセルをそのまま物体ボクセルとしても構  
25 わない。

### 3. 2 値化工程 (S T 3)

この工程では、2 値化手段 3 4 が、マイグレーション処理を施した 3 次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  に対して、振幅値の極性が正負何れか一方でその絶対値が所定の閾値より大きいボクセルが相互に接続してなる候補ボクセル

群を抽出する。具体的には、物体ボクセル工程で選択された物体ボクセルの振幅値が正值の場合には、閾値より大きい振幅値を有する候補ボクセル群を抽出し、物体ボクセルの振幅値が負値の場合には、絶対値が閾値より大きな負の振幅値を有する候補ボクセル群を抽出する。具体的には、例えば、選択された物体ボクセルの階調値が200であれば、振幅値が72であるので、閾値をその振幅値が物体ボクセルの振幅値の絶対値の半分になるように階調164に自動的に設定する。また、選択された物体ボクセルの階調値が0であれば、振幅値が-128であるので、閾値をその振幅値が物体ボクセルの振幅値の絶対値の半分になるように階調64に自動的に設定する。

このように、2値化処理に使用する閾値を物体ボクセルの振幅値の絶対値に基づいて自動的に設定することで、埋設深さの浅い領域での候補ボクセル群の抽出に使用する閾値を大きく設定するのが好ましい状況においては、当該領域で選択された物体ボクセルの振幅値の絶対値が当然に大きいため、自動的に大きな閾値が設定されることになる。また、逆に埋設深さの深い領域では、小さい閾値が自動的に設定され、高S/Nで候補ボクセル群を抽出するのに適した閾値が自動的に設定されるのである。

更に、この閾値は、他の処理結果に応じて変更可能にしておくのも好ましい。例えば、後続の連結合成工程の結果を見て、閾値の調整を行い、再度2値化工程から連結合成工程までを再計算可能に構成するのもよい。因みに、このように再調整された閾値が、第9図に示す計算機画面表示内の表示ブロック(MIN1~10)に表示される。

#### 4. 連結合成工程(ST4)

この工程においては、連結合成手段35が、2値化工程において抽出された候補ボクセル群の中から物体ボクセル選択工程において選択された物体ボクセルに連結する連結候補ボクセル群を抽出し、その連結候補ボクセル群を物体ボクセルと合成して物体ボクセル群とする。

具体的には、例えば、物体ボクセルを核にして、候補ボクセル群の中から物体ボクセルに隣接或いは物体ボクセルを包含する連結候補ボクセル群を一通り総当たりで抽出し、物体ボクセル群に追加する。そして1ボクセルでも追加さ

れた場合には、候補ボクセル群の中からこの物体ボクセル群に隣接する連結候補ボクセル群を一通り総当たりで抽出し、物体ボクセル群に追加する。これらの操作を、追加されるボクセルがなくなるまで繰り返す。

5       この連結合成工程により得られた物体ボクセル群の例を、第10図(A)、  
(B)に示す。同図より、浅いところから深いところまで明瞭に埋設物が検出  
できていることが分かる。ここで、第10図(B)は物体ボクセル群を地表面  
側から平面視した表示画面である。尚、第10図は、第6図、第7図と同様に  
実際の画面表示を模擬的に図案化したものである。

#### 5. 出力処理(ST5)

10       このような処理済のデータを出力処理することにより、明確に埋設管を探索  
することができる。

以下に第1実施形態の別実施形態を説明する。

15       〈1〉前記3次元ボクセルデータ生成工程と前記物体ボクセル選択工程の間にお  
いて、前記3次元ボクセルデータ生成工程で生成された前記3次元ボクセル  
データに対して、前記媒質表面上の位置(x, y)毎に反射時間t軸方向に  
おける振幅値の絶対値の最大値及びその最大値をとる反射時間 $t_{MAX}$ を抽出  
する最大値抽出工程と、前記最大値抽出工程で抽出された前記媒質表面上の  
位置(x, y)毎の前記最大値と前記反射時間 $t_{MAX}$ を反射時間 $t=0$ 、  
 $t=85$ のx-y平面上、つまり、前記3次元ボクセルデータの最上面と最  
20       下面に夫々配置する平面配置工程を実行する。

25       そして、上記実施形態の物体ボクセル選択工程を実行せずに、別の物体ボ  
クセル選択工程として、前記断面表示手段33aによって $t=0$ のx-y平  
面の断面表示がなされ、オペレータがマウス等の入力部21からの人為的操  
作により、その表示断面上においてカーソル表示を移動させ、前記断面座標  
点指定手段33bが、そのカーソル位置に基づいてその断面上の平面座標  
( $X_D$ ,  $Y_D$ )を指定する。

次に、断面座標点指定手段33bが、前記指定により選択されたボクセル  
の近傍において、最大値が最大となるボクセルを検索し、得られた物体ボク  
セルの座標値を( $X_1$ ,  $Y_1$ )とする(1番目の選択の場合)。ここで、前

記検索の範囲は  $t = 0$  の  $X-Y$  平面内の指定されたボクセルを中心とする  
± 6 ボクセルの正方形の範囲である。そして、 $(X_1, Y_1, 85)$  に格納  
されている前記反射時間  $t_{MAX}$  の値を読み出し、反射時間  $T_1$  の値とする。  
ここで、第 11 図 (A) は  $t = 0$  の断面表示を斜視図で表示したもので、同  
5 図 (B) は同じ断面表示を地表面側から平面視したものである。この後、最  
最終的に得られた  $(X_1, Y_1, T_1)$  を物体ボクセルとして、通常の 2 値化  
工程の処理へ移る。尚、最終的に得られた結果は、上記実施形態において第  
10 図で表示したものと同一であった。

(2) 上記の実施形態にあつては、振幅補正後の原 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  に対して、マイグレーション処理を施して、以降の処理に使用する  
10 3 次元ボクセルデータを得るものとしたが、このような処理としては、先に  
説明したように、合成開口処理を使用してもよい。

更に、マイグレーション処理あるいは合成開口処理は、上記のように、原  
3 次元ボクセルデータを得た後、2 値化工程を行う前に行ってもよく、更に、  
15 連結合成後に施す構成としてもよい。

上記の実施の形態にあつては、 $t$  軸方向の反射時間の遅い弱い信号を強調  
するために、 $t$  軸方向における振幅補正を送受信機に備えられる信号強度変  
調手段 15 によって行ったが、受信信号  $s$  を、信号強度変調手段 15 による  
処理を伴って、そのまま座標  $(x, y, t)$  アドレスに割り当てた状態でメモ  
20 リ 21a に取り込み、この原 3 次元ボクセルデータに対してソフト的な振  
幅調整処理を行う構成としてもよい。このような振幅調整にあつては、原 3  
次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  に関して、各反射時間  $t$  毎に、 $(x, y)$   
方向の平均をとり、 $t$  軸方向での受信信号強度の減衰が大きくなる  
ように、振幅を調整する処理を行うこととなる（これは、振幅調整処理手段  
25 37 で行う）。

また、 $t$  軸方向の分解能の向上を図るための操作として、 $t$  軸方向のウィ  
ーナフィルタ処理を挙げることができる。

即ち、例えば、原 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  を 2 値化処理の  
対象とする場合（この情報を 3 次元ボクセルデータ生成工程の出力とする場

合)、3次元ボクセルデータ生成工程の例えば最終部分で、座標 (x, y, t) に対応した受信信号強度 s から構成される原3次元ボクセルデータ s (x, y, t) に、その反射時間 t 軸方向に対してウィーナフィルタ処理を施し (これは、ウィーナフィルタ処理手段 36 で行う)、処理後の3次元ボクセルデータを以降の処理の対象とするのである。

このウィーナフィルタは以下の構造で働くものである。

受信波形 v (t) に対しインパルス応答が h<sub>1</sub> (t) で表されるフィルタを施した波形を W (t) とすると、数式 2 で表される。また、数式 2 中の h<sub>1</sub> (t) のフーリエ変換 H<sub>1</sub> (f) は数式 3 で与えられる。

$$W(t) = \int_{-\infty}^{\infty} v(\tau) h_1(t-\tau) d\tau \quad (2)$$

$$H_1 = W_0 \frac{W_1^*(f)}{(1-\eta) W_0 + \eta |W_1(f)|^2} \quad 0 \leq \eta \leq 1 \quad (3)$$

ここで、W<sub>1</sub> (f) は通常計測される代表的な反射波形のフーリエ変換である。また、W<sub>0</sub> は数式 4 で与えられるフィルタ定数である。

$$W_0 = \int_0^{f_{\max}} |W_1(f)|^2 df \quad (4)$$

このウィーナフィルタは、0 ≤ η ≤ 1 を満たすパラメータ η によってフィルタ特性が変化するフィルタで、η = 1 の時はインバースフィルタ (逆フィルタ)、η = 0 の時マッチトフィルター (整合フィルタ) となる。本願の場合にあつては、η = 0.5 ~ 0.9 程度に選択することが好ましい。

更に、このようなウィーナフィルタを介した処理済の3次元ボクセルデータに対して、先に説明した合成開口処理、マイグレーション処理を施して、後の2値化処理、連結合成処理の対象となる3次元ボクセルデータを生成してもよい。

[第2実施形態]

次に、本発明の第二の目的を達成するための第2実施形態について説明する。

第2実施形態に係る3次元探査装置全体の構成及び機能は、第1実施形態と共通であり、既に第1図～第3図に基づいて説明してあるので、説明は割愛する。

また、第12図に示すように、第2実施形態に係るデータ処理部21は、第1  
5 実施形態と同じく、3次元ボクセルデータ生成手段31、マイグレーション処理  
手段32、及び、出力処理手段38を備えている。その他の第1実施形態と同じ  
各種手段を具備していても構わないが、第12図では、第2実施形態に直接関係  
するもののみを表示している。

この3次元ボクセルデータ生成手段31は、以降の処理で使用される3次元ボ  
10 クセルデータを生成するためのものであり、受信信号強度 $s$ をそのまま媒質表面  
上の位置 $(x, y)$ と時間 $t$ との関数とする原3次元ボクセルデータ $s(x, y, t)$ を生成する。

ところで、この3次元ボクセルデータ生成手段31によって生成された3次元  
ボクセルにおいて、第14図に示すような移動経路上において前記反射波5を受  
15 信した場合、受信位置に対応する3次元ボクセルは、データ値として受信信号強  
度を有しているが、それ以外の3次元ボクセルは、実質的なデータ値を持たず、  
データが欠損している状態にある。ここで、便宜上前者の3次元ボクセルをソー  
スボクセルと、後者の3次元ボクセルを欠損ボクセルと定義する。

前記データ処理部21は、上記した移動経路によっては欠損ボクセルが発生す  
20 るため、かかる欠損ボクセルに対して1次元線形補間を行い補間する線形補間手  
段26を備えている。この補間処理については後述する。

更に、必要な場合、この補間処理後の3次元ボクセルデータ $s(x, y, t)$   
は、マイグレーション処理手段32によってマイグレーション処理されて、マイ  
グレーション処理済の新たな3次元ボクセルデータ $S(x, y, t)$ が生成され  
25 る。また、マイグレーション処理の代わりに、第1実施形態と同様に合成開口処  
理を施すものとしてもよい。

次に、第2実施形態に係る3次元探査方法を、第15図に示すデータ処理部  
21での典型的なデータ処理手順のフローチャートに基づいて説明する。

### 1. 3次元ボクセルデータ生成工程 (ST6)

この工程は、先に説明した第1実施形態と同じであるので説明を割愛する。

### 2. 線形補間工程 (ST7)

この工程は、前記線形補間手段26が、複数階調の原3次元ボクセルデータ  
5  $s(x, y, t)$  に対して、以下の要領で欠損ボクセルのデータの補間を行う工程である。

原3次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  の反射時間  $t$  方向に対してはデータが密に存在しているため、 $x-y$  平面での2次元データの補間として考えて、求められた2次元平面上での重み付けを用いて各反射時間  $t$  毎に補間を行う。

10  $x-y$  平面での2次元データの補間を行うに、先ず  $y$  軸方向に沿って1次元線形補間を行う。この1次元線形補間を行う際に、欠損ボクセルが  $y$  軸方向に連続して存在する距離が、地中での電磁波の波長（第13図に示す埋設状況では、比誘電率  $\epsilon_r$  が9で、当該電磁波の周波数が300MHzであり、波長  $\lambda$  は約33cmである。）以下となる場合のみ、それらの欠損ボクセルに対して  
15 線形補間を行い、前記距離が前記波長以上の場合は、線形補間を行わずに欠損ボクセルのまま放置しておく。引き続き、 $y$  軸方向に沿って行ったのと同じ要領で  $x$  軸方向に沿って1次元線形補間を行う。

### 3. 出力処理 (ST8)

次に、このようにして得られた原3次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  が  
20 必要に応じてマイグレーション処理され、3次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  とされる。このような処理済のデータを出力処理することにより、明確に埋設管を探索することができる。

次に、線形補間工程 (ST7) の効果について、第13図に示す埋設状況の埋設管50を、第14図に示す移動経路に沿って探索を行った場合の3次元ボ  
25 クセルデータを用いて説明する。

第16図に、この線形補間工程を用いずに3次元可視化した3次元ボクセルデータを示す。また、第17図に、この線形補間工程を用いて3次元可視化した3次元ボクセルデータを示す。尚、第16図及び第17図の表示は、視覚的に分かりやすいように、出力表示する前に、夫々3次元マイグレーション処理

を施している。第 16 図では、ノイズが多く、埋設管が途切れているが、第 17 図では良好な可視化が行われ、線形補間工程を施すことによって、探査精度の向上が図れることが確認できた。尚、第 16 図及び第 17 図は、実際の画面表示を模擬的に図案化したものである。

- 5       更に、第 18 図に、線形補間工程において、欠損ボクセルが y 軸方向に連続して存在する距離が、10 cm、20 cm、30 cm 以下の場合にのみ 1 次元線形補間を行った比誘電率 9（波長は約 30 cm）の探査画像のマイグレーション処理結果を示す。縦軸はマイグレーション値を、横軸は比誘電率を示す。第 18 図に示すように、欠損ボクセルが y 軸方向に連続して存在する距離が
- 10       30 cm、即ち第 4 図に示す埋設状況における電磁波の地中での波長を超えるとマイグレーション処理効果が減衰してしまい、補間処理が適切でないことが分かる。

- 上記実施形態では、線形補間工程（ST6）において、x 軸方向と y 軸方向に沿って 1 次元線形補間を行ったが、これらの座標軸に沿わない任意の方向に
- 15       1 次元線形補間を行っても構わない。

#### [第 3 実施形態]

次に、本発明の第三の目的を達成するための第 3 実施形態である 3 次元ボクセルデータ表示方法について説明する。

- 第 1 図に示すように、本発明に係る 3 次元ボクセルデータ表示装置を具備した
- 20       3 次元探査装置は、第 1 及び第 2 実施形態と同じく、送受信機 10 とデータ解析装置 20 とを主な機器として備えて構成されている。そして、本願にあっては、データ解析装置 20 における解析処理にその特徴がある。

- 第 1 図に示すように、媒質である土壌 1 にガス等の流体を配送する鋼管などの物体 2 が埋設されており、送受信機 10 とデータ解析装置 20 を備えた探査装置
- 25       3 が地表面を移動しながら、物体 2 の埋設位置を探査する。その移動方向は、第 1 図の表示例では x 方向である。そして、本願のように 3 次元ボクセルデータを得る場合は、x 方向のデータの収集を終了した後、y 方向（第 1 図の表裏方向）に所定量の移動を繰り返しながら、x 方向データを逐次、収集する。尚、第 1 図に示す物体 2 は、探査対象である物体を模式的に例示したものであり、例えば、



第 13 図に示すような埋設状況における埋設管 50 の一部を示すものである。

送受信機 10 及びデータ解析装置 20 を含む第 3 実施形態に係る 3 次元探査装置全体の構成及び機能については、第 1 及び第 2 実施形態と共通であり、既に第 1 図～第 3 図に基づいて説明してあるので、説明は割愛する。

- 5       また、第 19 図に示すように、第 3 実施形態に係るデータ処理部 21 は、第 1 または第 2 実施形態と同じく、3 次元ボクセルデータ生成手段 31 及びマイグレーション処理手段 32 を備えている。その他の第 1 または第 2 実施形態と同じ各種手段を具備していても構わないが、第 19 図では、第 3 実施形態に直接関係するもののみを表示している。
- 10       この 3 次元ボクセルデータ生成手段 31 は、以降の処理で使用される 3 次元ボクセルデータを生成するためのものであり、受信信号強度  $s$  をそのまま媒質表面上の位置  $(x, y)$  と時間  $t$  との関数とする原 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  を生成する。更に、必要な場合、この原 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  は、マイグレーション処理手段 32 によってマイグレーション処理されて、
- 15       マイグレーション処理済の新たな 3 次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  が生成される。また、マイグレーション処理の代わりに、第 1 実施形態と同様に合成開口処理を施すものとしてもよい。これらのデータは 3 次元構造を取るため、 $s(x, y, t)$ 、 $S(x, y, t)$  は共に、3 次元ボクセルデータに属し、3 次元ボクセルデータ生成手段 31 で生成されるデータ群である。
- 20       更に、このデータ処理部 21 は、前記 3 次元ボクセルデータ生成手段 31 により生成された 3 次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  または前記マイグレーション処理手段 32 により生成された 3 次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  に対して、前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に反射時間  $t$  軸方向における振幅値の絶対値の最大値である最大絶対値を抽出する最大絶対値抽出手段 27 と、前記最大
- 25       絶対値抽出手段 27 で抽出された前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎の前記最大絶対値を所定平面上に配置する平面配置手段 28 と、その平面配置された前記最大絶対値を出力処理して前記表示部 23 に表示する平面表示手段 29 とを備えている。

次に、本発明に係る 3 次元ボクセルデータ表示方法の一実施形態を、第 20 図

に示すデータ処理部 21 での典型的なデータ処理手順のフローチャートに基づいて説明する。

1. 3次元ボクセルデータ生成工程 (ST9)

この工程は、先に説明した第1実施形態と同じであるので説明を割愛する。

5 2. 最大絶対値抽出工程 (ST10)

3次元ボクセルデータ生成工程において生成された3次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  に対して、前記最大絶対値抽出手段 27 が各媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に反射時間  $t$  軸方向における振幅値を前記メモリ 21a から逐次読み出し、その絶対値の最大値である最大絶対値を抽出する。各媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に最大絶対値を抽出したときに、その最大絶対値をとる反射時間  $t_{MAX}$  も併せて抽出する。これにより、処理後においても、強い信号を反射する埋設物領域がどの反射時間  $t$  (埋設深さに相当) に存在するかを容易に把握することが可能となる。

3. 平面配置工程 (ST11)

15 前記最大絶対値抽出工程において抽出された各媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎の最大絶対値を前記平面配置手段 28 によって所定平面上に配置する。

実際には、各媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に、最大絶対値抽出工程と平面配置工程を連続して実行することにより効率的に処理される。具体的には、各媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に抽出した最大絶対値と反射時間  $t_{MAX}$  を前記メモリ 21a の所定領域に格納する。全ての媒質表面上の位置  $(x, y)$  に対して両工程を実行すると、最終的に、各媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎の最大絶対値が所定平面上に配置されることになる。このとき、最大絶対値の格納領域を  $t = 0$  と割り当てることにより、当該平面が3次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  の最上面に配置される結果となる。

25 4. 平面表示工程 (ST12)

前記平面表示手段 29 が、平面配置工程において平面配置された最大絶対値を出力処理して前記表示部 23 に表示する。

第13図に示す埋設管を探索した3次元ボクセルデータを処理した結果について、本工程において画像表示した例を第21図に示す。第21図に示した表

示画像は、第26図～第30図に示す従来技術によるものと比べて視認性が改善され、埋設状況の平面配置が容易に把握できることが分かる。

以下に第3実施形態の別実施形態を説明する。

5 (1) 前記最大絶対値抽出工程において、各媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に反射時間  $t$  軸方向における最大絶対値を抽出する際に、反射時間  $t$  の所定範囲内にある振幅値を除外するのも好ましい実施の形態である。このようにして抽出した最大絶対値を、上記実施例と同様に平面表示工程で画像表示した例を第22図に示す。尚、第22図に示す実施例では、3次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  の反射時間  $t$  の範囲を  $8 \text{ ns} \sim 78 \text{ ns}$  (埋設深さに換算して  $0.4 \text{ m} \sim 3.9 \text{ m}$ ) の振幅値のみを対象として前記最大絶対値の抽出を行なっている。

第22図より、深い埋設管の弱い反射信号がより明解に把握できるようになったことが分かる。

15 また、各媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に反射時間  $t$  軸方向における最大絶対値を抽出する際に、振幅値の極性が正または負の何れか一方のボクセルのみを対象とすることもSN比の改善という観点から好ましい。

20 (2) 前記3次元ボクセルデータ生成工程において、前記原3次元ボクセルデータ  $s(x, y, t)$  に対して、複数の地中伝搬速度(媒質中の伝搬速度)を用いて複数の合成開口処理若しくはマイグレーション処理を施して前記複数の伝搬速度毎の3次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  を生成し、夫々に対して前記最大絶対値抽出工程と前記平面表示工程を各別に行うようにしても構わない。

25 この結果、前記各伝搬速度毎の前記平面表示工程における前記3次元ボクセルデータ  $S(x, y, t)$  の前記最大絶対値の表示結果から、適切な伝搬速度による処理結果を選択することができるのである。

地中伝搬速度を  $0.50C_0$ 、 $0.33C_0$ 、 $0.23C_0$  の3通りに設定した実施結果を第23図、第24図、第25図の順に示す。ここで、 $C_0$  は真空中での電磁波の伝搬速度であり、各伝搬速度に対応する地中の比誘電率は4、9、19である。第23図、第24図、第25図より、地中伝搬速度

が 0.33C。(比誘電率 9)の時のフォーカス(第 24 図)が最も良いので、この処理結果を適切な地中伝搬速度による処理結果と判断することができる。

#### 5 産業上の利用可能性

本発明の 3 次元探査方法及び装置、並びに、3 次元ボクセルデータ表示方法及び装置は、媒質中の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を媒質中へ放射し、この媒質中に存在する物体からの反射信号を受信し、受信された受信信号を信号処理して、媒質中に存在する物体の位置を探査する 3 次元探査に  
10 利用することができる。例えば、ガス配管等の地中埋設物の 3 次元探査に適用することができる。

15

20

25

## 請 求 の 範 囲

1. 媒質の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を前記媒質中へ放射し、前記媒質中に存在する物体からの反射信号を受信する送受信工程と、
- 5 受信信号強度に対する前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  と反射時間  $t$  を座標  $(x, y, t)$  とする 3 次元ボクセルデータを生成する 3 次元ボクセルデータ生成工程とを順次実行し、前記媒質中に存在する物体の位置を探索する 3 次元探索方法において、

- 前記 3 次元ボクセルデータ生成工程で生成された前記 3 次元ボクセルデータに対して、1 つ以上の物体ボクセルを人為的操作入力に従って選択する物体ボクセル選択工程と、
- 10

振幅値の極性が正負何れか一方でその絶対値が所定の閾値より大きいボクセルが相互に接続してなる候補ボクセル群を抽出する 2 値化工程と、

- 前記 2 値化工程において抽出された前記候補ボクセル群の中から前記物体ボクセル選択工程において選択された前記物体ボクセルに連結する連結候補ボクセル群を抽出し、その連結候補ボクセル群を前記物体ボクセルと合成して物体ボクセル群とする連結合成工程とを実行することを特徴とする 3 次元探索方法。
- 15

2. 前記 2 値化工程で使用する前記所定の閾値は、前記物体ボクセル選択工程において選択された前記物体ボクセルの振幅値に基づいて設定することを特徴とする請求項 1 記載の 3 次元探索方法。
- 20

3. 前記物体ボクセル選択工程において、前記 3 次元ボクセルデータ生成工程で生成された前記 3 次元ボクセルデータを断面表示し、その表示された断面上の座標点を指定することにより、前記 1 つ以上の物体ボクセルを選択する請求項 1 記載の 3 次元探索方法。

- 25 4. 前記 3 次元ボクセルデータ生成工程で生成された前記 3 次元ボクセルデータに対して、前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に反射時間  $t$  軸方向における振幅値の絶対値の最大値及びその最大値をとる反射時間  $t_{MAX}$  を抽出する最大値抽出工程と、前記最大値抽出工程で抽出された前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎の前記最大値と前記反射時間  $t_{MAX}$  を夫々所定の反射時間  $t$  の  $x-y$  平面上に配

置する平面配置工程を実行し、

前記物体ボクセル選択工程において、前記最大値を配置した前記  $x - y$  平面を表示し、その表示された平面上の座標点を指定して、その指定された座標点とそれに対応する反射時間  $t_{MAX}$  とで特定することにより、前記 1 つ以上の物体ボク

5 セルを選択する請求項 1 記載の 3 次元探索方法。

5. 前記物体ボクセル選択工程において、前記指定された座標点近傍にあって、その座標点の振幅値と同符号でその絶対値が最大の振幅値を有する座標点を前記指定された座標点と置換することにより、前記 1 つ以上の物体ボクセルを選択する請求項 3 または 4 記載の 3 次元探索方法。

10 6. 前記 3 次元ボクセルデータ若しくは前記候補ボクセル群若しくは前記物体ボクセル群に対して合成開口処理若しくはマイグレーション処理を施すことを特徴とする請求項 1 記載の 3 次元探索方法。

7. 前記 3 次元ボクセルデータ生成工程で、前記 3 次元ボクセルデータの反射時間  $t$  軸方向に対してウィーナフィルタ処理若しくは振幅補正処理を施し、処理  
15 前の原 3 次元ボクセルデータと置換する請求項 1 記載の 3 次元探索方法。

8. 媒質の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を前記媒質中へ放射し、前記媒質中に存在する物体からの反射信号を受信する送受信手段と、前記送受信手段で得られた受信信号から、受信信号強度に対する前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  と反射時間  $t$  を座標  $(x, y, t)$  とする 3 次元ボクセルデー  
20 タを生成する 3 次元ボクセルデータ生成手段とを備え、前記媒質中に存在する物体の位置を探索する 3 次元探索装置において、

前記 3 次元ボクセルデータ生成手段により生成された前記 3 次元ボクセルデータに対して、1 つ以上の物体ボクセルを人為的操作入力に従って選択する物体ボクセル選択手段と、

25 振幅値の極性が正負何れか一方でその絶対値が所定の閾値より大きいボクセルが相互に接続してなる候補ボクセル群を抽出する 2 値化手段と、

前記 2 値化手段により抽出された前記候補ボクセル群の中から前記物体ボクセル選択手段によって選択された前記物体ボクセルに連結する連結候補ボクセル群を抽出し、その連結候補ボクセル群を前記物体ボクセルと合成して物体ボクセル

群とする連結合成手段とを備えてなる 3 次元探査装置。

9. 前記物体ボクセル選択手段は、前記 3 次元ボクセルデータ生成手段によって生成された前記 3 次元ボクセルデータの任意の断面を人為的操作入力に従って選択表示する断面表示手段と、その表示された断面上の座標点を所定の人為的操作入力に従って指定可能な断面座標点指定手段とを備えている請求項 8 記載の 3 次元探査装置。

10. 媒質の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を前記媒質中へ放射し、前記媒質中に存在する物体からの反射信号を受信する送受信工程と、受信信号強度に対する前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  と反射時間  $t$  を座標  $(x, y, t)$  とする 3 次元ボクセルデータを生成する 3 次元ボクセルデータ生成工程とを順次実行し、前記媒質中に存在する物体の位置を探索する 3 次元探査方法において、

- 前記 3 次元ボクセルデータ生成工程で生成された前記 3 次元ボクセルデータがデータの欠損したボクセルを有する場合、その欠損ボクセルに対してその欠損ボクセルを含む  $x - y$  平面内の所定方向に 1 次元線形補間を施す線形補間工程を実行することを特徴とする 3 次元探査方法。

11. 1 次元線形補間を行う方向を変更して前記線形補間工程を 2 回以上実行することを特徴とする請求項 10 記載の 3 次元探査方法。

12. 前記線形補間工程において、1 次元線形補間を行う方向に前記欠損ボクセルが連続して存在する距離が、前記波動信号の前記媒質中における波長以下の場合に、前記 1 次元線形補間を行うことを特徴とする請求項 10 または 11 記載の 3 次元探査方法。

13. 媒質の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を前記媒質中へ放射し、前記媒質中に存在する物体からの反射信号を受信する送受信手段と、前記送受信手段で得られた受信信号から、受信信号強度に対する前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  と反射時間  $t$  を座標  $(x, y, t)$  とする 3 次元ボクセルデータを生成する 3 次元ボクセルデータ生成手段とを備え、前記媒質中に存在する物体の位置を探索する 3 次元探査装置において、

前記 3 次元ボクセルデータ生成手段により生成された前記 3 次元ボクセルデー

タがデータの欠損したボクセルを有する場合、その欠損ボクセルに対してその欠損ボクセルを含む  $x - y$  平面内の所定方向に 1 次元線形補間を施す線形補間手段を備えてなる 3 次元探索装置。

- 1 4. 媒質表面から媒質中へ放射した波動信号の反射信号強度に基づいて前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  と反射時間  $t$  を座標  $(x, y, t)$  として生成された 3 次元ボクセルデータの表示方法であって、

前記 3 次元ボクセルデータに対して、前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に反射時間  $t$  軸方向における振幅値の最大絶対値を抽出する最大絶対値抽出工程と、前記最大絶対値抽出工程で抽出された前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎の前記最大絶対値を所定平面上に配置する平面配置工程と、前記所定平面上に配置された前記最大絶対値を表示する平面表示工程を実行する 3 次元ボクセルデータ表示方法。

- 1 5. 前記最大絶対値抽出工程で抽出された前記最大絶対値の中から最大値と最小値を求め、その最大値と最小値が夫々表示階調の上限及び下限となるように前記最大絶対値を正規化することを特徴とする請求項 1 4 記載の 3 次元ボクセルデータ表示方法。

- 1 6. 前記最大絶対値抽出工程において、前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に前記最大絶対値を抽出する際に、その最大絶対値をとる反射時間  $t_{MAX}$  も併せて抽出することを特徴とする請求項 1 4 または 1 5 記載の 3 次元ボクセルデータ表示方法。

- 1 7. 前記最大絶対値抽出工程において、前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に前記最大絶対値を抽出する際に、反射時間  $t$  の所定範囲内にある振幅値を除外することを特徴とする請求項 1 4 または 1 5 記載の 3 次元ボクセルデータ表示方法。

- 1 8. 前記最大絶対値抽出工程において、前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に前記最大絶対値を抽出する際に、振幅値の極性が正または負の何れか一方のボクセルのみを対象とすることを特徴とする請求項 1 4 または 1 5 記載の 3 次元ボクセルデータ表示方法。

- 1 9. 前記最大絶対値抽出工程前に、前記反射信号強度からなる 3 次元ボクセルデータに対して合成開口処理若しくはマイグレーション処理を施して、表示対象



となる前記 3 次元ボクセルデータを生成することを特徴とする請求項 1 4 記載の 3 次元ボクセルデータ表示方法。

20. 前記合成開口処理若しくはマイグレーション処理を複数の媒質中の伝搬速度で実行して、前記伝搬速度毎に前記 3 次元ボクセルデータを生成し、前記伝搬速度毎の前記各 3 次元ボクセルデータに対して、前記最大絶対値抽出工程と前記平面配置工程と前記平面表示工程を各別に行ない、前記各伝搬速度毎の前記平面表示工程における前記 3 次元ボクセルデータの表示結果から、適切な伝搬速度による処理結果を選択することを特徴とする請求項 1 9 記載の 3 次元ボクセルデータ表示方法。

- 10 21. 媒質表面から媒質中へ放射した波動信号の反射信号強度に基づいて前記媒質表面上の位置 (x, y) と反射時間 t を座標 (x, y, t) として生成された 3 次元ボクセルデータを表示する 3 次元ボクセルデータ表示装置であって、

- 前記 3 次元ボクセルデータに対して、前記媒質表面上の位置 (x, y) 毎に反射時間 t 軸方向における振幅値の最大絶対値を抽出する最大絶対値抽出手段と、  
15 前記最大絶対値抽出手段で抽出された前記媒質表面上の位置 (x, y) 毎の前記最大絶対値を所定平面上に配置する平面配置手段と、前記所定平面上に配置された前記最大絶対値を表示する平面表示手段とを備えてなる 3 次元ボクセルデータ表示装置。

20

25

## 補正書の請求の範囲

[2000年1月17日(17.01.00)国際事務局受理:出願当初の請求の範囲3,4及び9は  
取り下げられた;出願当初の請求の範囲1及び8は補正された;他の請求の範囲は変更なし。(3頁)]

1.(補正後) 媒質の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号  
を前記媒質中へ放射し、前記媒質中に存在する物体からの反射信号を受信する送  
5 受信工程と、受信信号強度に対する前記媒質表面上の位置(x, y)と反射時間  
tを座標(x, y, t)とする3次元ボクセルデータを生成する3次元ボクセル  
データ生成工程とを順次実行し、前記媒質中に存在する物体の位置を探索する3  
次元探索方法において、

前記3次元ボクセルデータ生成工程で生成された前記3次元ボクセルデータに  
10 対して、前記媒質表面上の位置(x, y)毎に反射時間t軸方向における振幅値  
の絶対値の最大値及びその最大値をとる反射時間 $t_{MAX}$ を抽出する最大値抽出工  
程と、

前記最大値抽出工程で抽出された前記媒質表面上の位置(x, y)毎の前記最  
大値と前記反射時間 $t_{MAX}$ を夫々所定の反射時間tのx-y平面上に配置する平  
15 面配置工程と、

前記最大値を配置した前記x-y平面を表示し、その表示された平面上の座標  
点を人為的操作入力に従って指定して、その指定された座標点とそれに対応する  
前記反射時間 $t_{MAX}$ とで特定することにより、1つ以上の物体ボクセルを選択す  
る物体ボクセル選択工程と、

20 振幅値の極性が正負何れか一方でその絶対値が所定の閾値より大きいボクセル  
が相互に接続してなる候補ボクセル群を抽出する2値化工程と、

前記2値化工程において抽出された前記候補ボクセル群の中から前記物体ボク  
セル選択工程において選択された前記物体ボクセルに連結する連結候補ボクセル  
群を抽出し、その連結候補ボクセル群を前記物体ボクセルと合成して物体ボクセル  
25 群とする連結合成工程とを実行することを特徴とする3次元探索方法。

2. 前記2値化工程で使用する前記所定の閾値は、前記物体ボクセル選択工程  
において選択された前記物体ボクセルの振幅値に基づいて設定することを特徴と  
する請求項1記載の3次元探索方法。

3.(削除)

## 4. (削除)

5. 前記物体ボクセル選択工程において、前記指定された座標点近傍にあって、その座標点の振幅値と同符号でその絶対値が最大の振幅値を有する座標点を前記指定された座標点と置換することにより、前記1つ以上の物体ボクセルを選択する請求項3または4記載の3次元探査方法。
6. 前記3次元ボクセルデータ若しくは前記候補ボクセル群若しくは前記物体ボクセル群に対して合成開口処理若しくはマイグレーション処理を施すことを特徴とする請求項1記載の3次元探査方法。
7. 前記3次元ボクセルデータ生成工程で、前記3次元ボクセルデータの反射時間  $t$  軸方向に対してウィーナフィルタ処理若しくは振幅補正処理を施し、処理前の原3次元ボクセルデータと置換する請求項1記載の3次元探査方法。
8. (補正後) 媒質の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を前記媒質中へ放射し、前記媒質中に存在する物体からの反射信号を受信する送受信手段と、前記送受信手段で得られた受信信号から、受信信号強度に対する前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  と反射時間  $t$  を座標  $(x, y, t)$  とする3次元ボクセルデータを生成する3次元ボクセルデータ生成手段とを備え、前記媒質中に存在する物体の位置を探索する3次元探査装置において、
- 前記3次元ボクセルデータ生成手段が生成した前記3次元ボクセルデータに対して、前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎に反射時間  $t$  軸方向における振幅値の絶対値の最大値及びその最大値をとる反射時間  $t_{MAX}$  を抽出する最大値抽出手段と、
- 前記最大値抽出手段が抽出した前記媒質表面上の位置  $(x, y)$  毎の前記最大値と前記反射時間  $t_{MAX}$  を夫々所定の反射時間  $t$  の  $x-y$  平面上に配置する平面配置手段と、
- 前記最大値を配置した前記  $x-y$  平面を表示し、その表示された平面上の座標点を人為的操作入力に従って指定して、その指定された座標点とそれに対応する前記反射時間  $t_{MAX}$  とで特定することにより、1つ以上の物体ボクセルを選択する物体ボクセル選択手段と、
- 振幅値の極性が正負何れか一方でその絶対値が所定の閾値より大きいボクセル

が相互に接続してなる候補ボクセル群を抽出する2値化手段と、

- 前記2値化手段により抽出された前記候補ボクセル群の中から前記物体ボクセル選択手段によって選択された前記物体ボクセルに連結する連結候補ボクセル群を抽出し、その連結候補ボクセル群を前記物体ボクセルと合成して物体ボクセル群とする連結合成手段とを備えてなる3次元探査装置。

9. (削除)

10. 媒質の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を前記媒質中へ放射し、前記媒質中に存在する物体からの反射信号を受信する送受信工程と、受信信号強度に対する前記媒質表面上の位置 $(x, y)$ と反射時間 $t$ を座標 $(x, y, t)$ とする3次元ボクセルデータを生成する3次元ボクセルデータ生成工程とを順次実行し、前記媒質中に存在する物体の位置を探査する3次元探査方法において、

- 前記3次元ボクセルデータ生成工程で生成された前記3次元ボクセルデータがデータの欠損したボクセルを有する場合、その欠損ボクセルに対してその欠損ボクセルを含む $x-y$ 平面内の所定方向に1次元線形補間を施す線形補間工程を実行することを特徴とする3次元探査方法。

11. 1次元線形補間を行う方向を変更して前記線形補間工程を2回以上実行することを特徴とする請求項10記載の3次元探査方法。

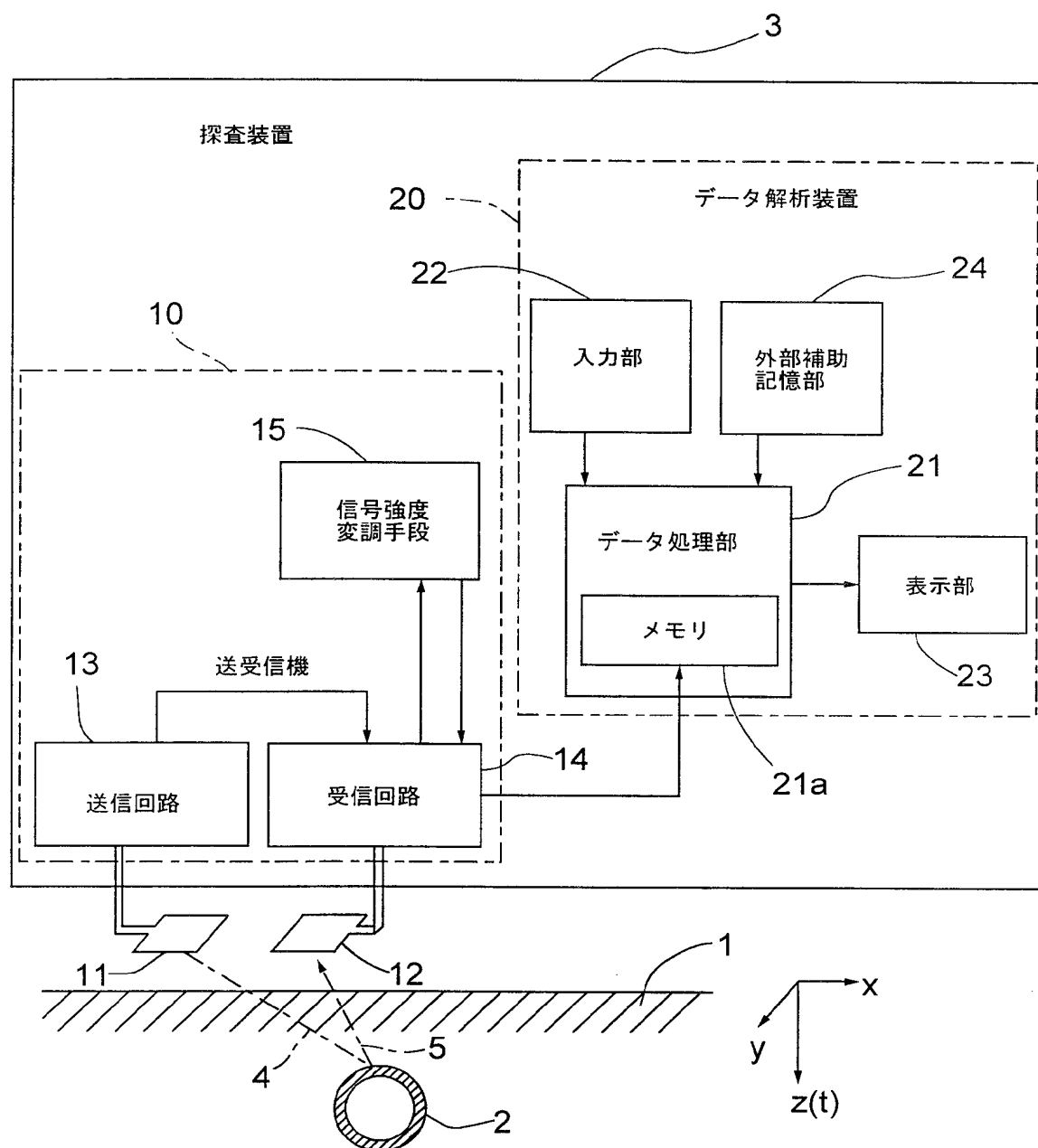
12. 前記線形補間工程において、1次元線形補間を行う方向に前記欠損ボクセルが連続して存在する距離が、前記波動信号の前記媒質中における波長以下の場合に、前記1次元線形補間を行うことを特徴とする請求項10または11記載の3次元探査方法。

13. 媒質の表面を移動しながら、電磁波または音波による波動信号を前記媒質中へ放射し、前記媒質中に存在する物体からの反射信号を受信する送受信手段と、前記送受信手段で得られた受信信号から、受信信号強度に対する前記媒質表面上の位置 $(x, y)$ と反射時間 $t$ を座標 $(x, y, t)$ とする3次元ボクセルデータを生成する3次元ボクセルデータ生成手段とを備え、前記媒質中に存在する物体の位置を探査する3次元探査装置において、

前記3次元ボクセルデータ生成手段により生成された前記3次元ボクセルデー

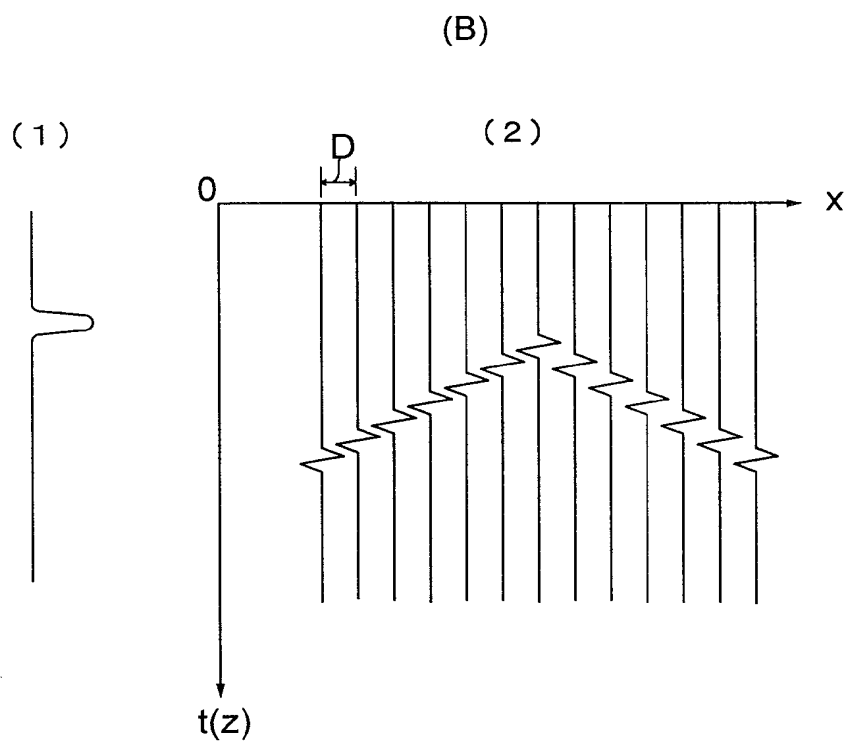
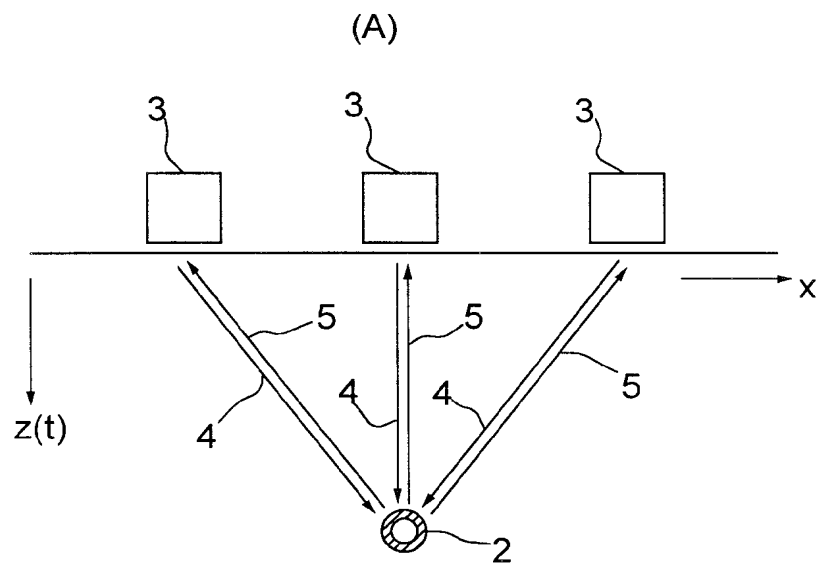
1/27

Fig.1



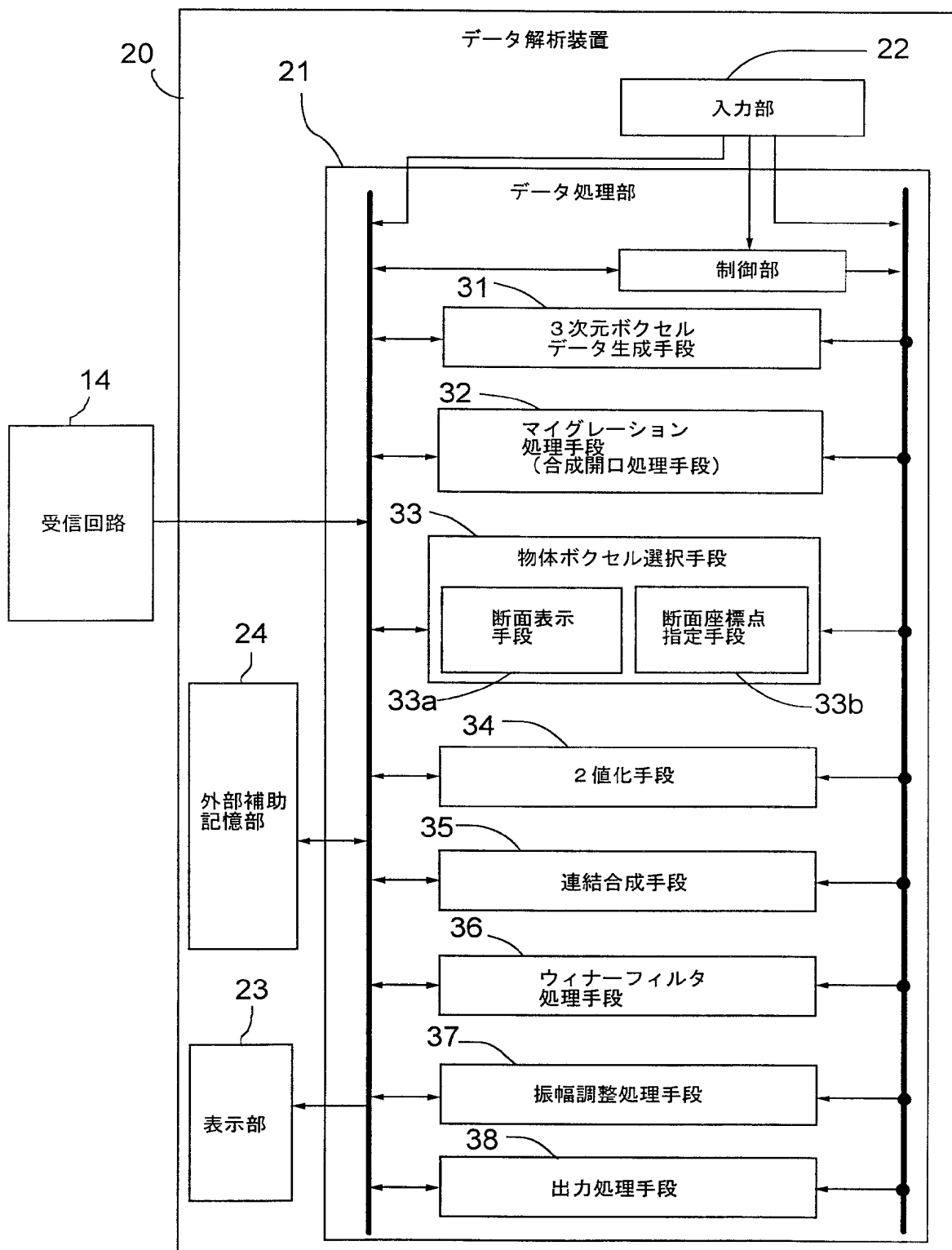
2/27

Fig.2



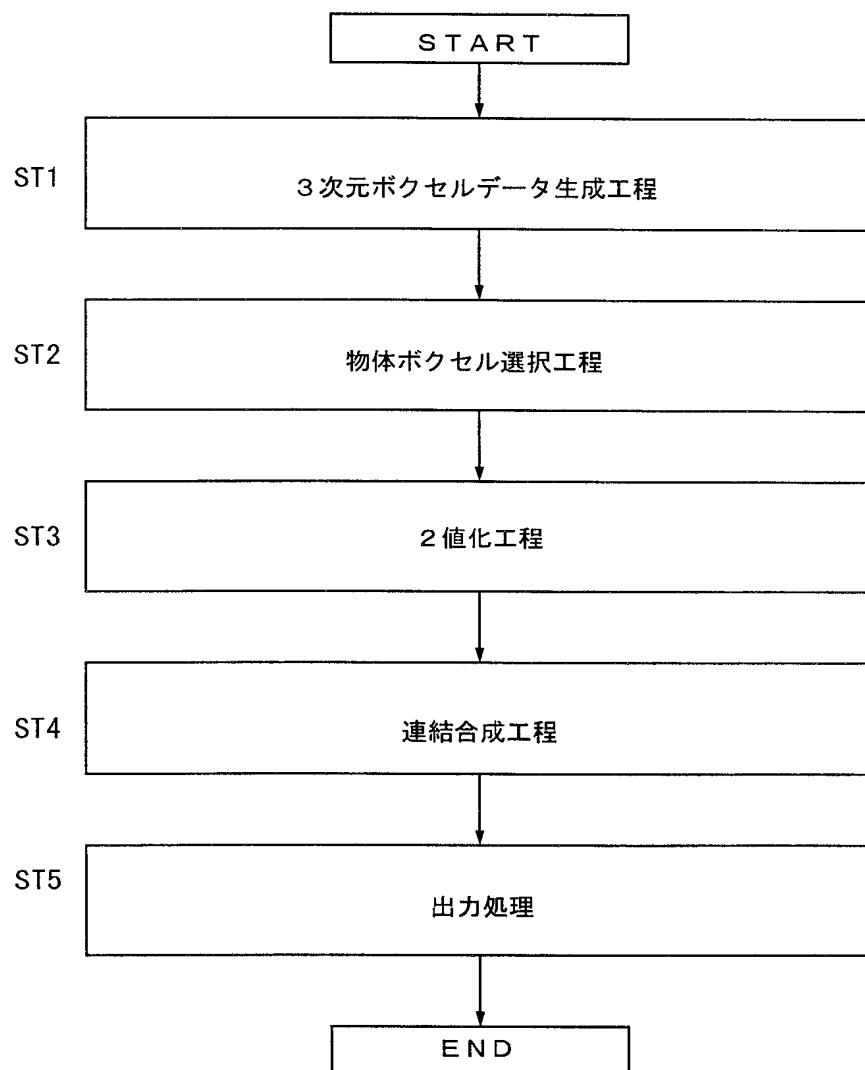
3/27

Fig.3



4/27

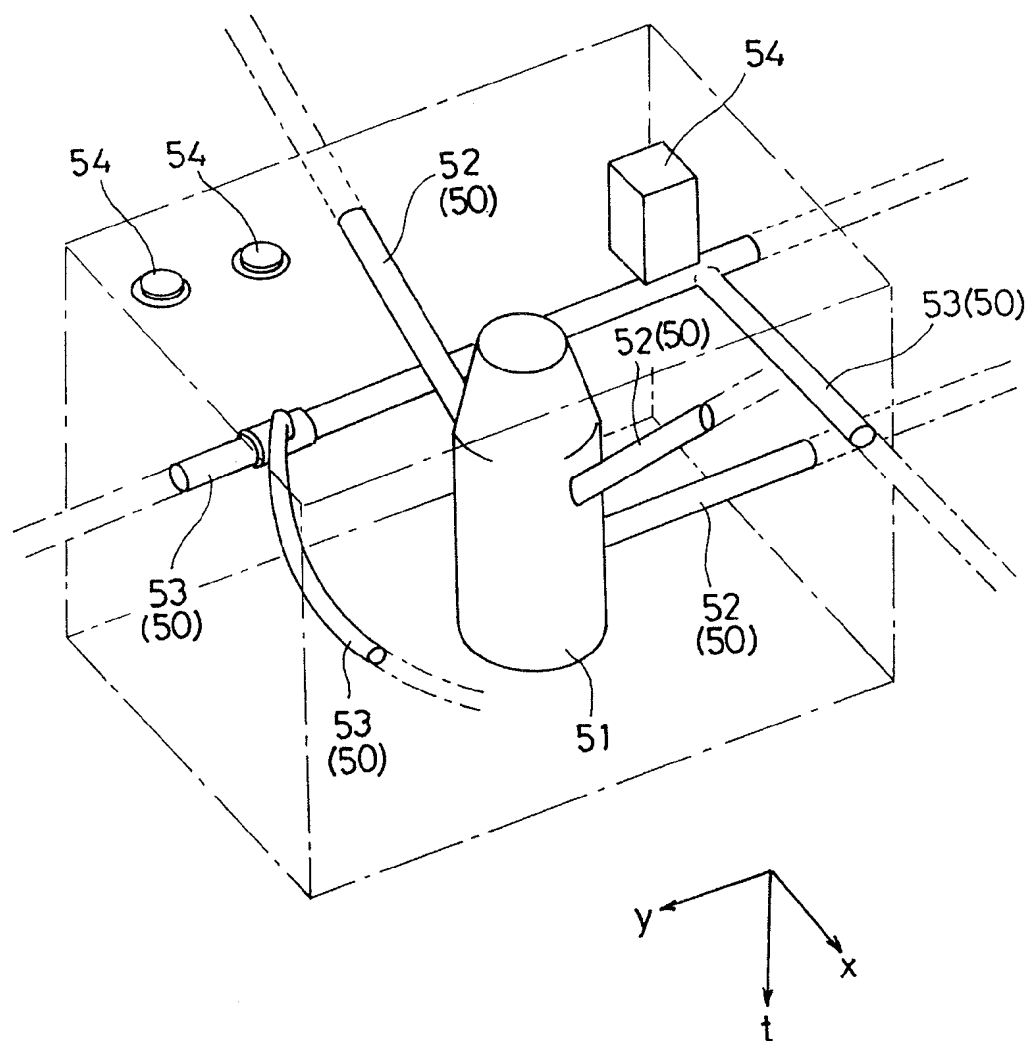
Fig.4





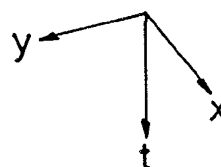
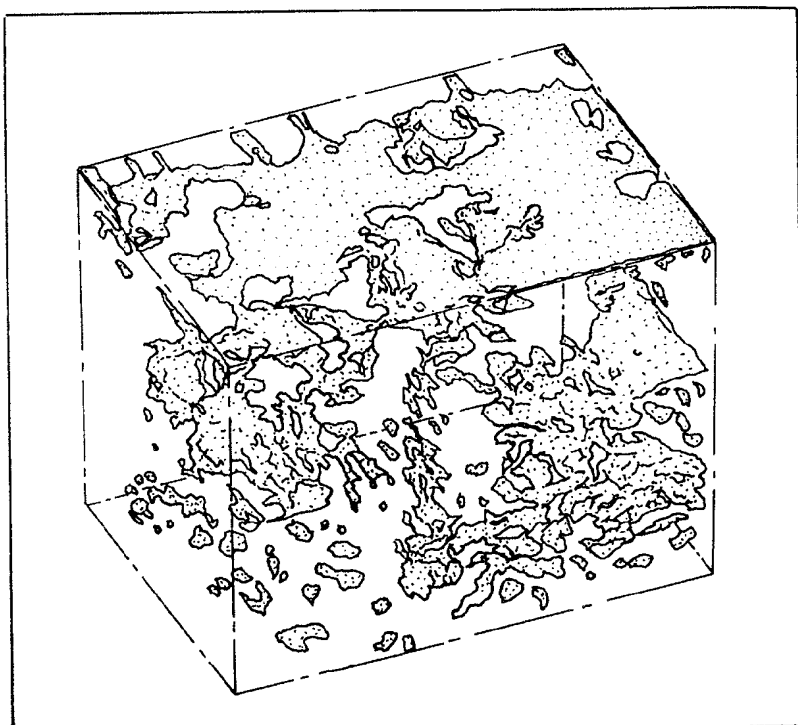
5/27

Fig.5



6/27

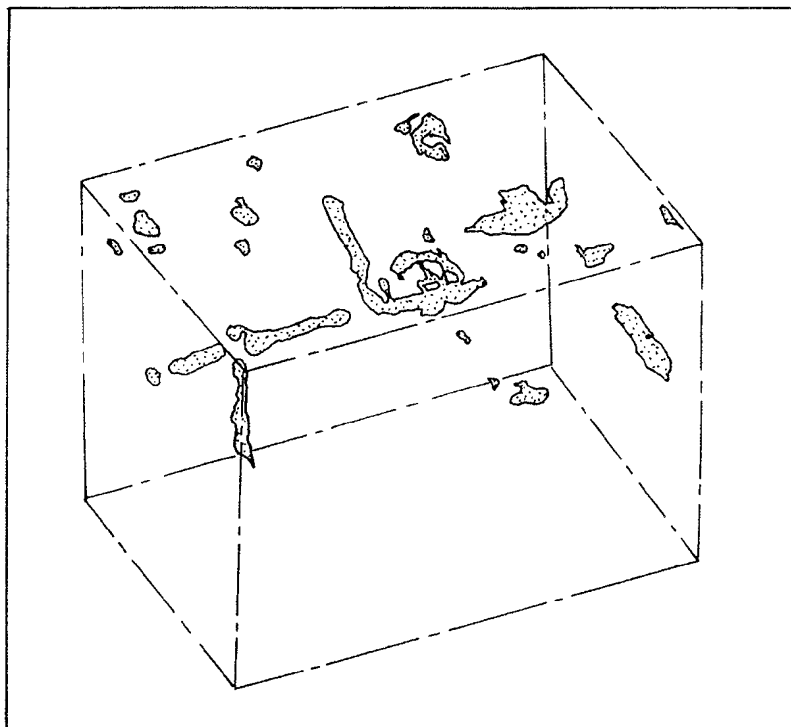
Fig.6



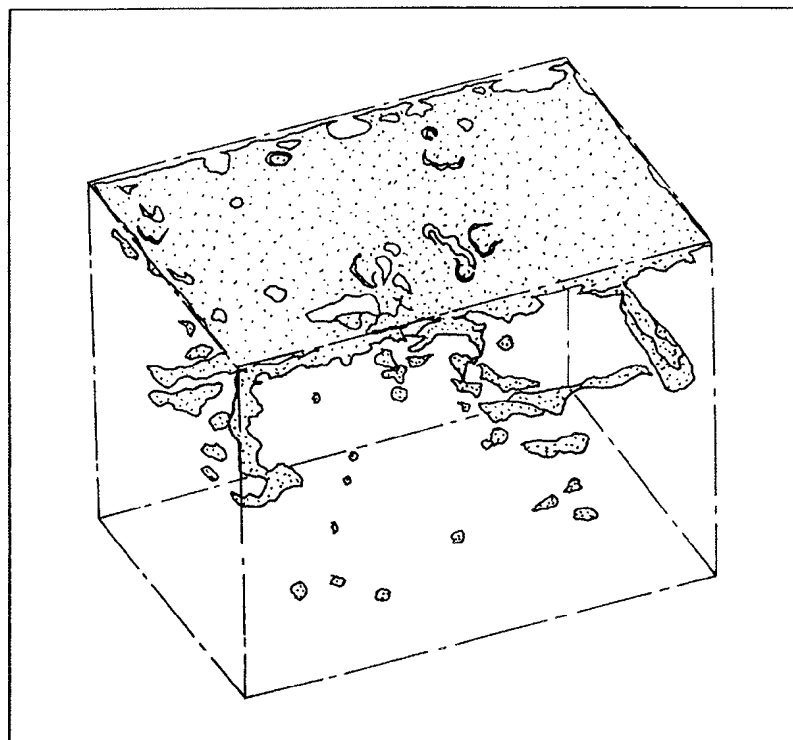
7/27

Fig.7

(A)



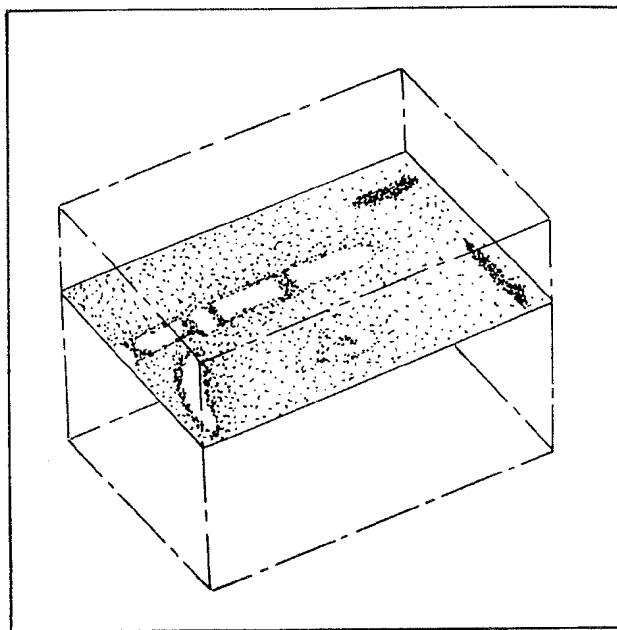
(B)



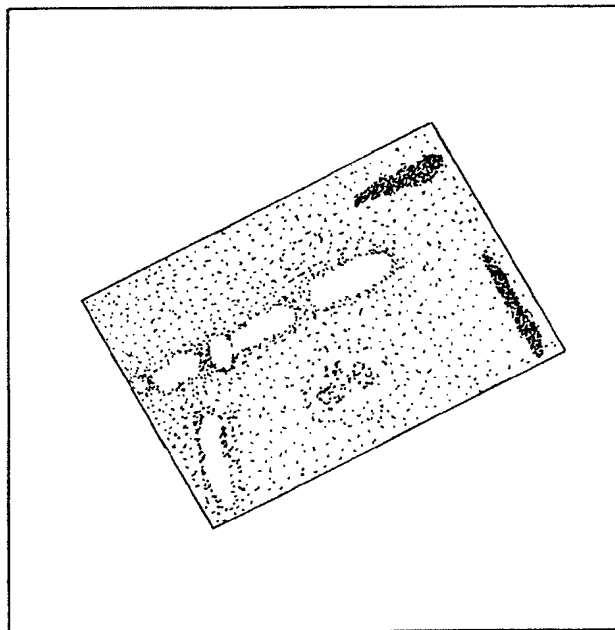
8/27

Fig.8

(A)



(B)



9/27

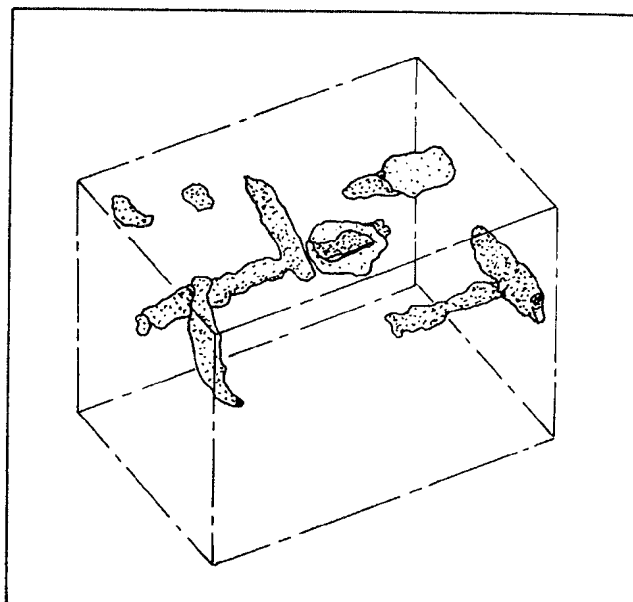
Fig.9

1	CALC1	Delete1
MAX1 208	MIN1 165	
X1: 24	Y1: 47	T1: 5
2	CALC2	Delete2
MAX2 70	MIN2 100	
X2: 17	Y2: 69	T2: 40
3	CALC3	Delete3
MAX3 235	MIN3 170	
X3: 56	Y3: 8	T3: 7
4	CALC4	Delete4
MAX4 255	MIN4 170	
X4: 57	Y4: 29	T4: 11
5	CALC5	Delete5
MAX5 208	MIN5 160	
X5: 38	Y5: 78	T5: 12
6	CALC6	Delete6
MAX6 18	MIN6 90	
X6: 9	Y6: 93	T6: 32
7	CALC7	Delete7
MAX7 55	MIN7 105	
X7: 23	Y7: 12	T7: 29
8	CALC8	Delete8
MAX8 22	MIN8 105	
X8: 40	Y8: 23	T8: 29
9	CALC9	Delete9
MAX9 52	MIN9 100	
X9: 40	Y9: 64	T9: 30
10	CALC10	Delete10
MAX10 40	MIN10 90	
X10: 57	Y10: 92	T10: 32

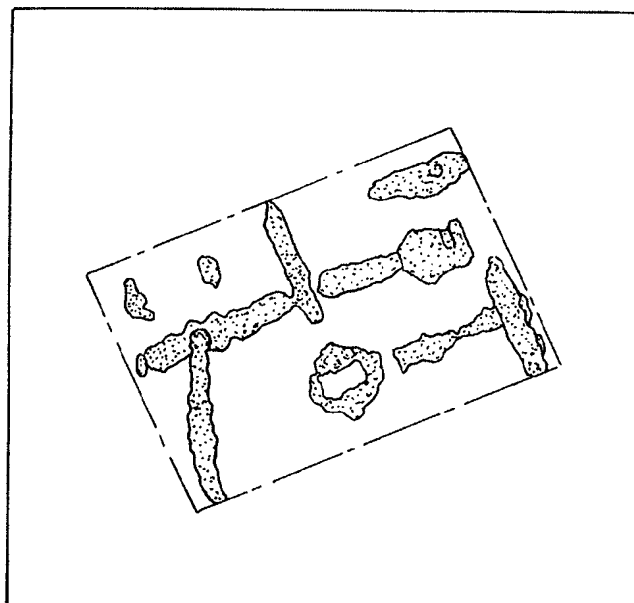
10/27

Fig.10

(A)



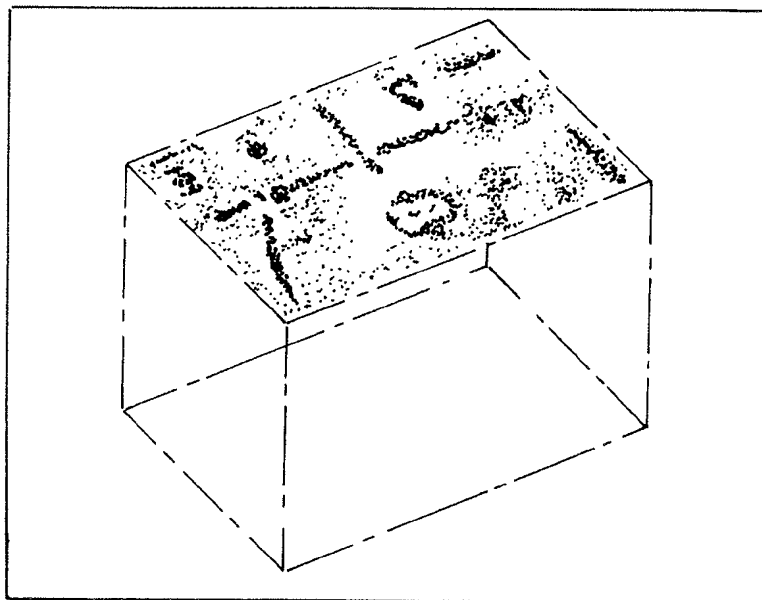
(B)



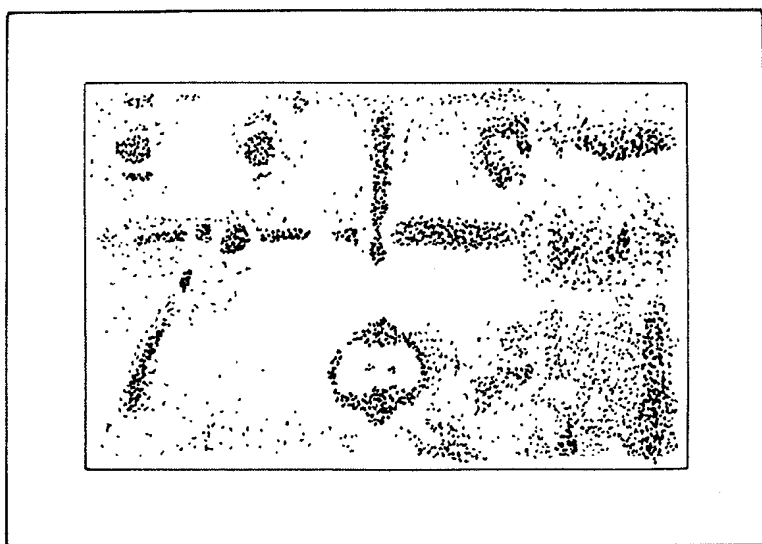
11/27

Fig.11

(A)

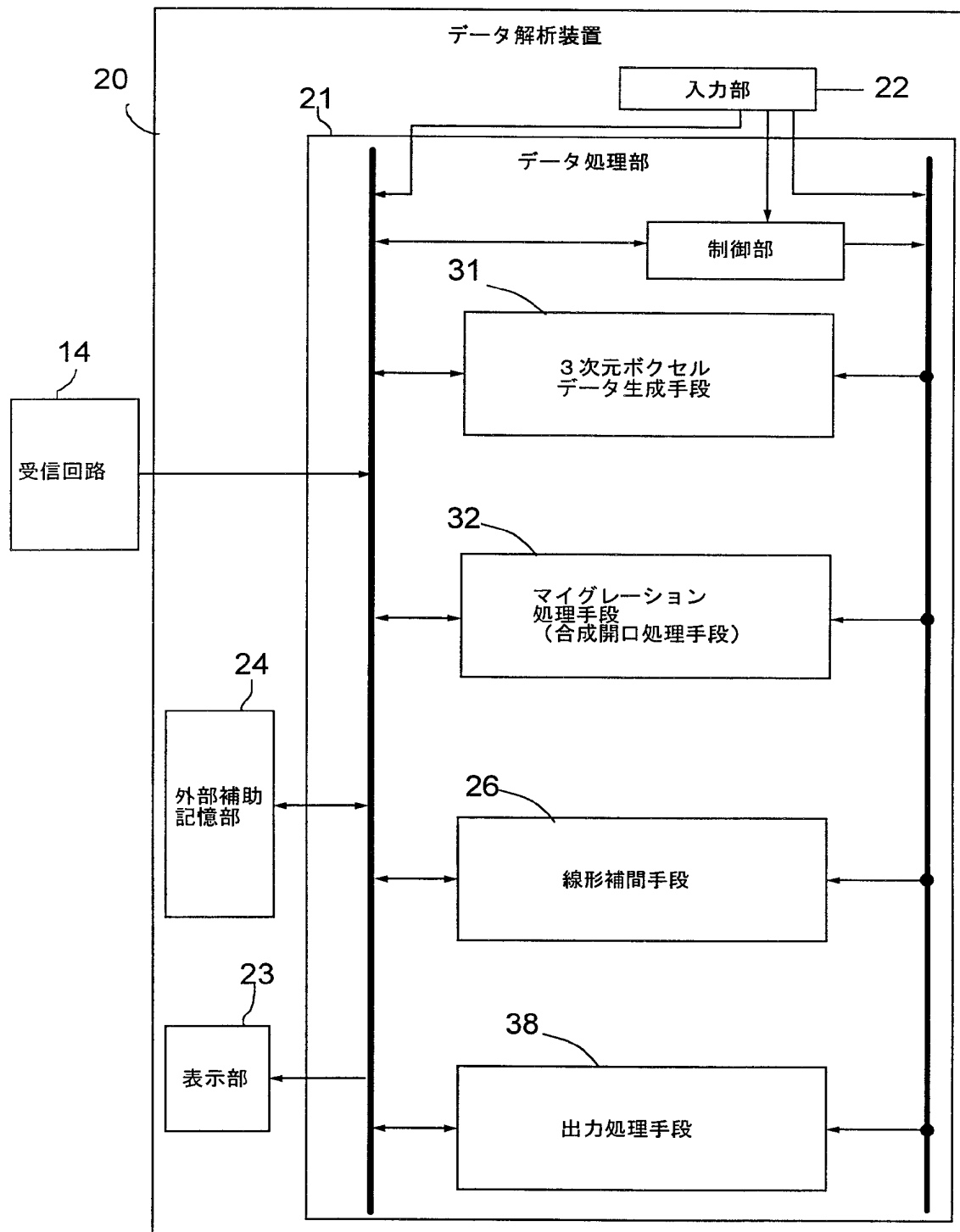


(B)



12/27

Fig.12





13/27

Fig.13

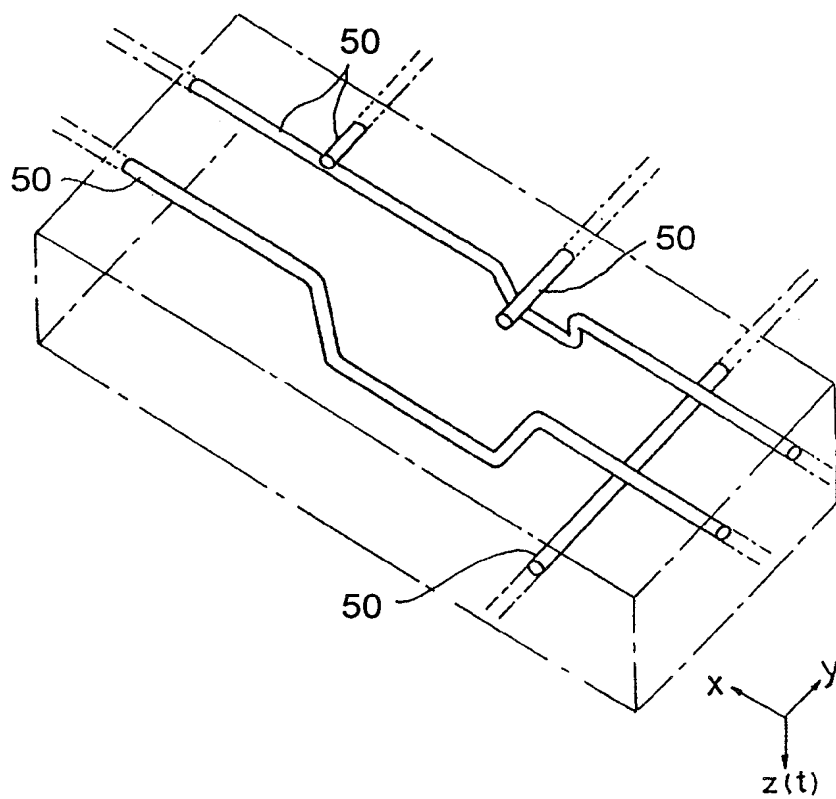
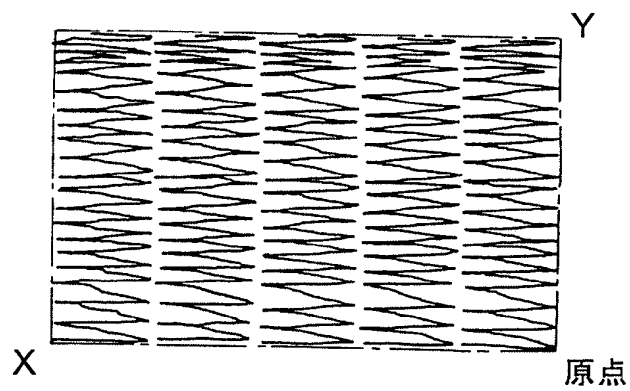


Fig.14



14/27

Fig.15

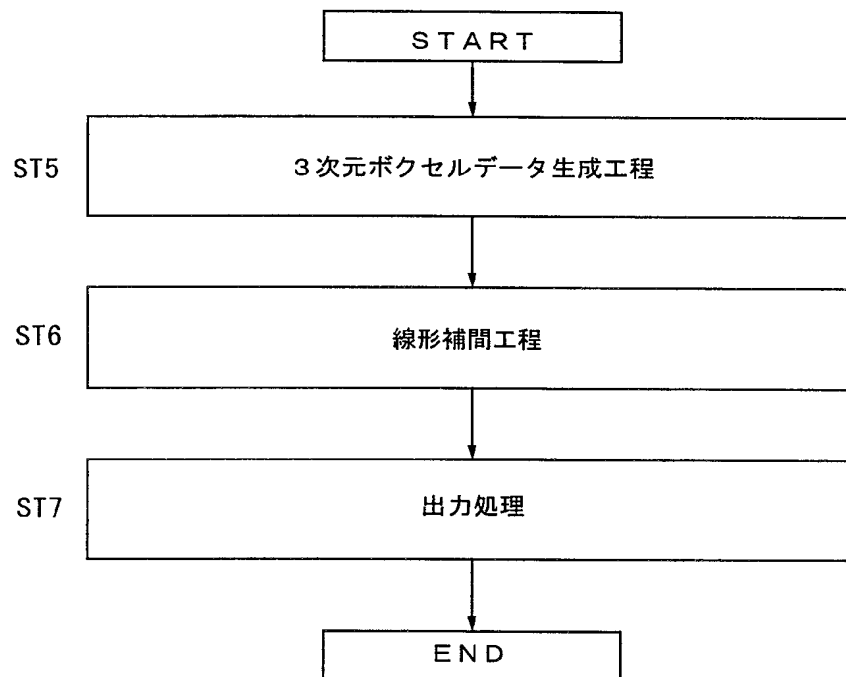
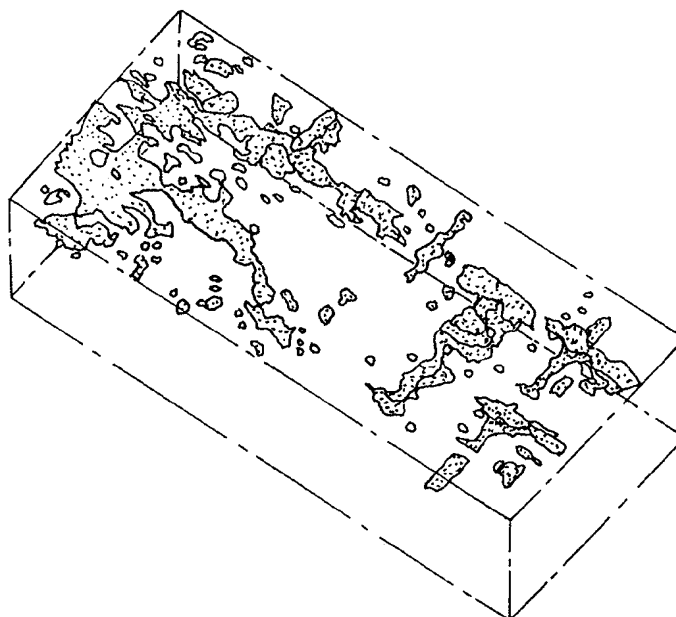


Fig.16



15/27

Fig.17

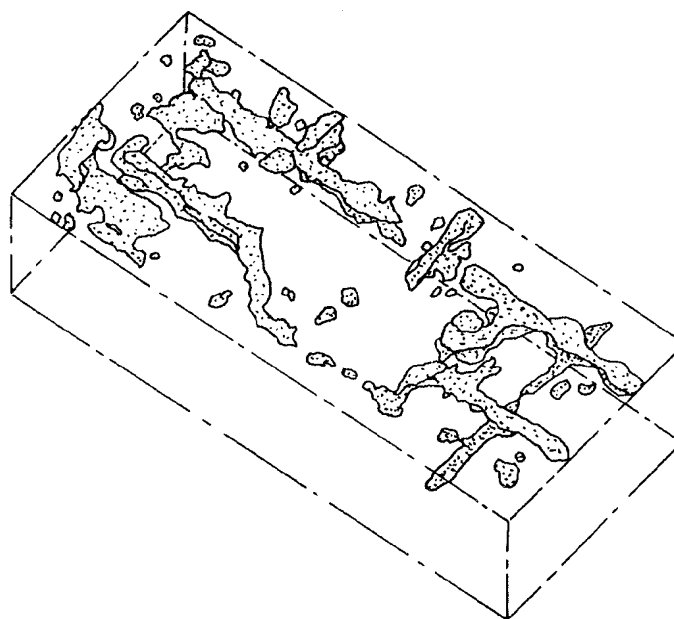
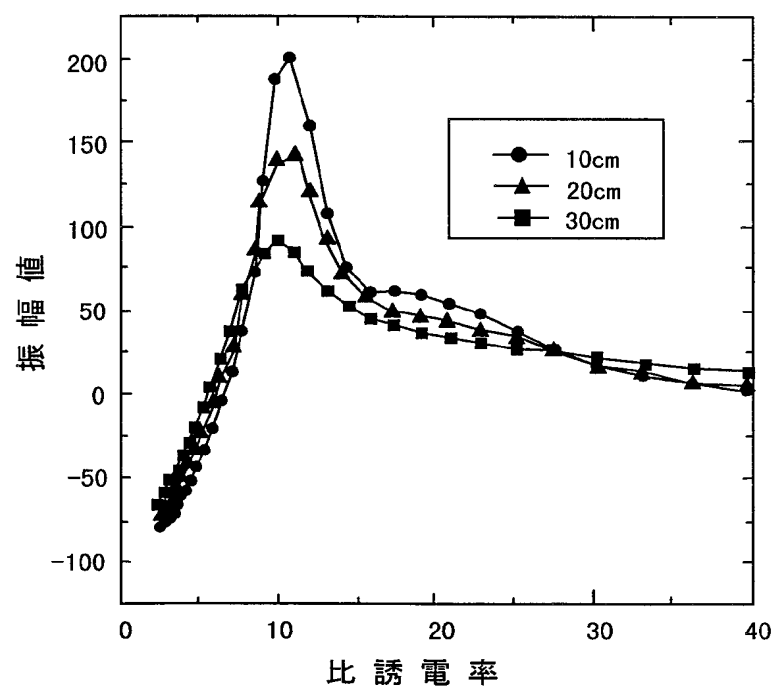
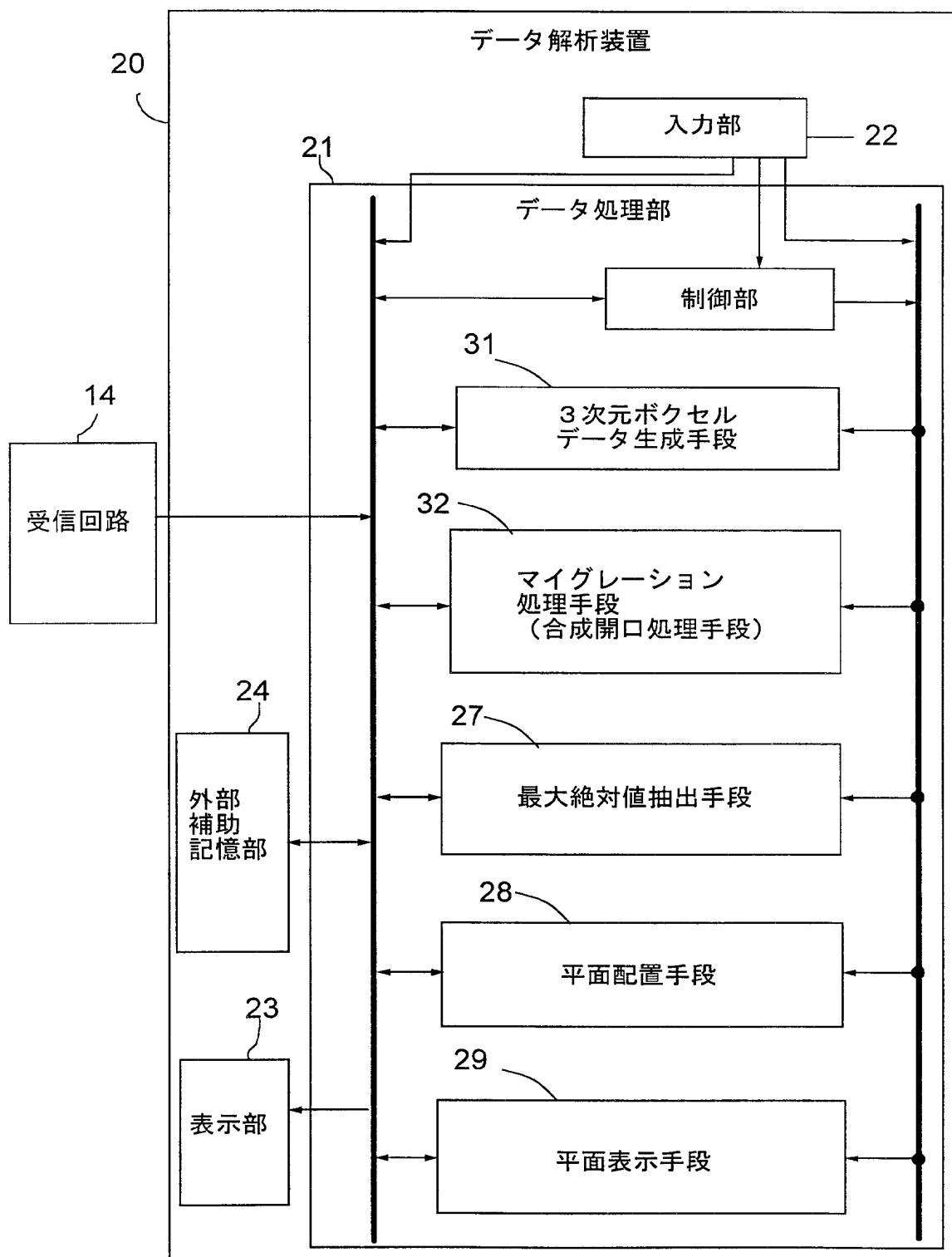


Fig.18



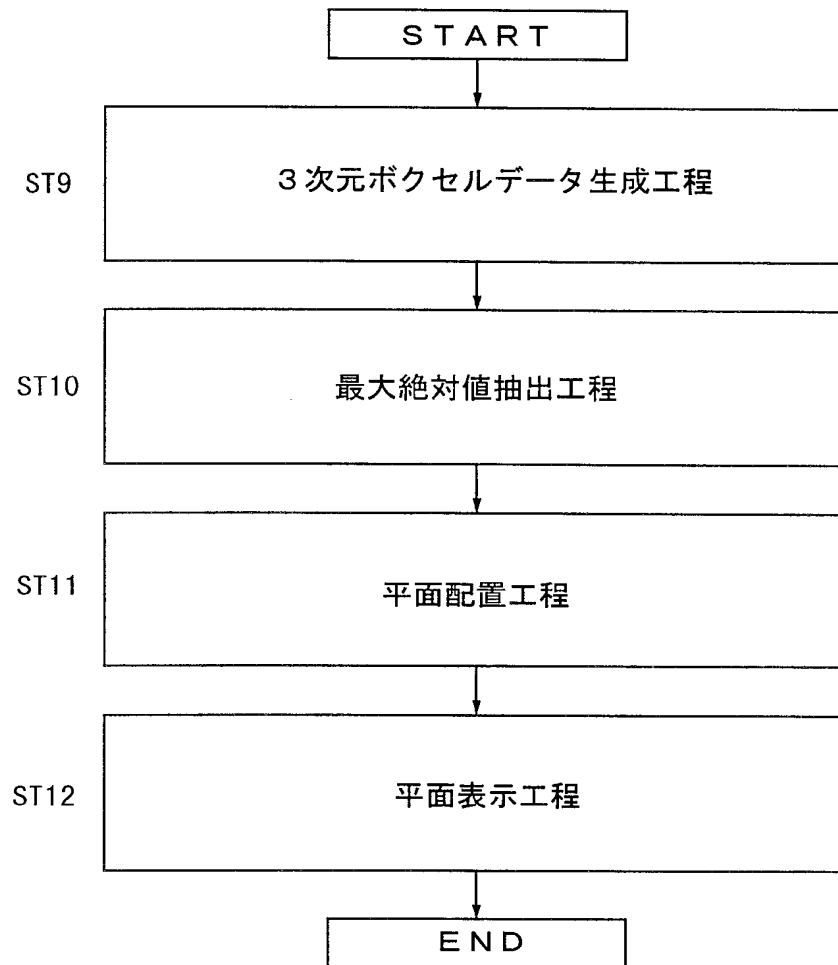
16/27

Fig.19



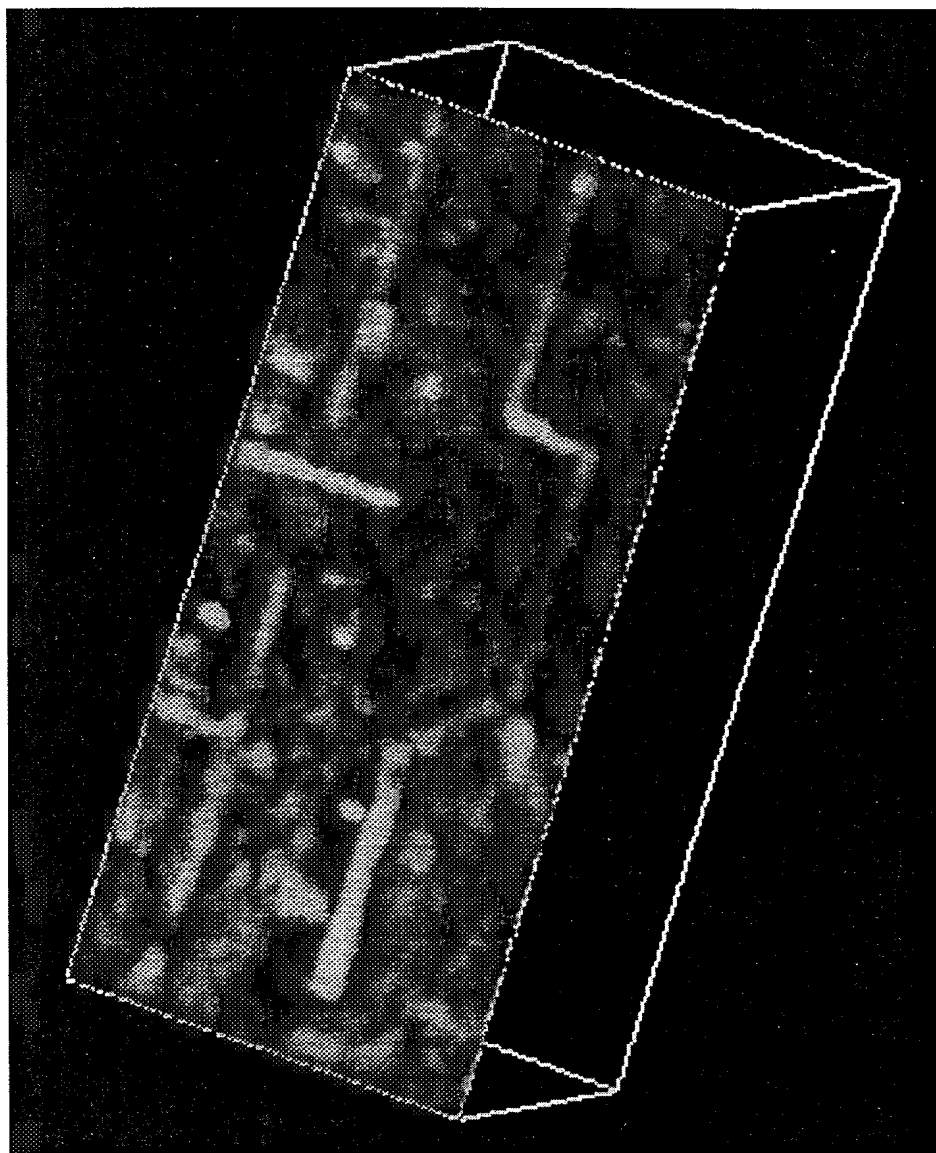
17/27

Fig.20



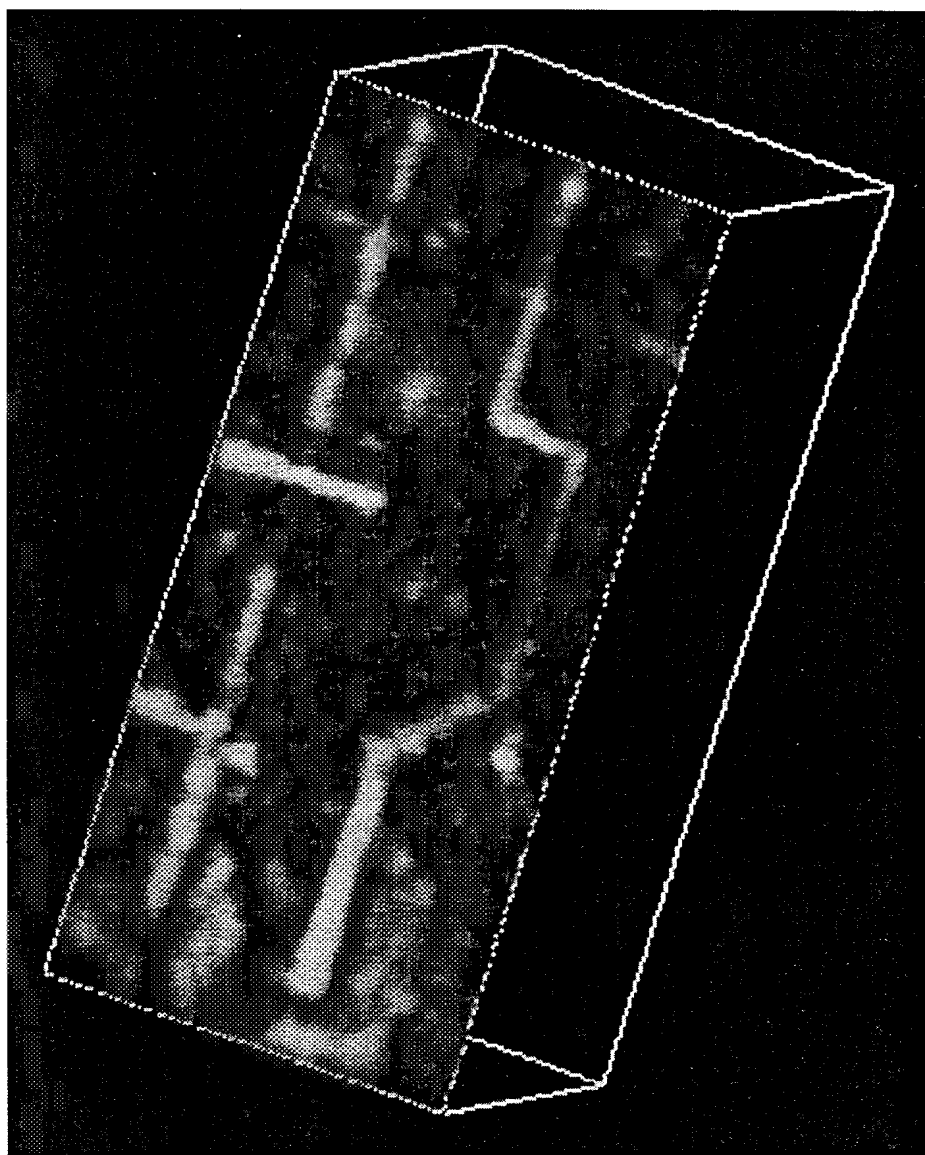
18/27

Fig.21



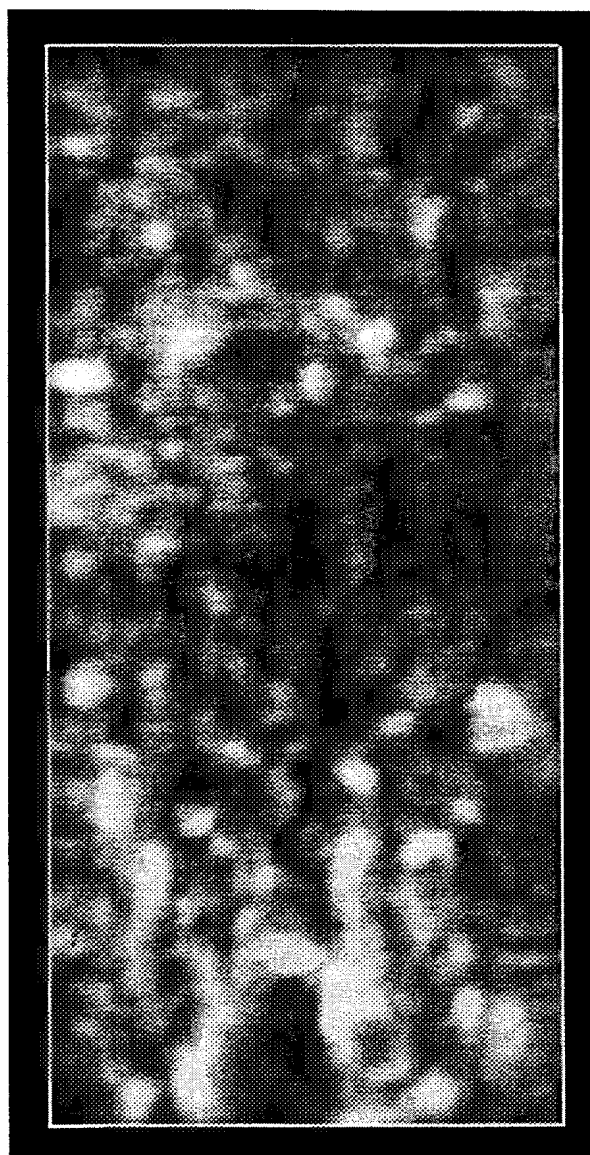
19/27

Fig.22



20/27

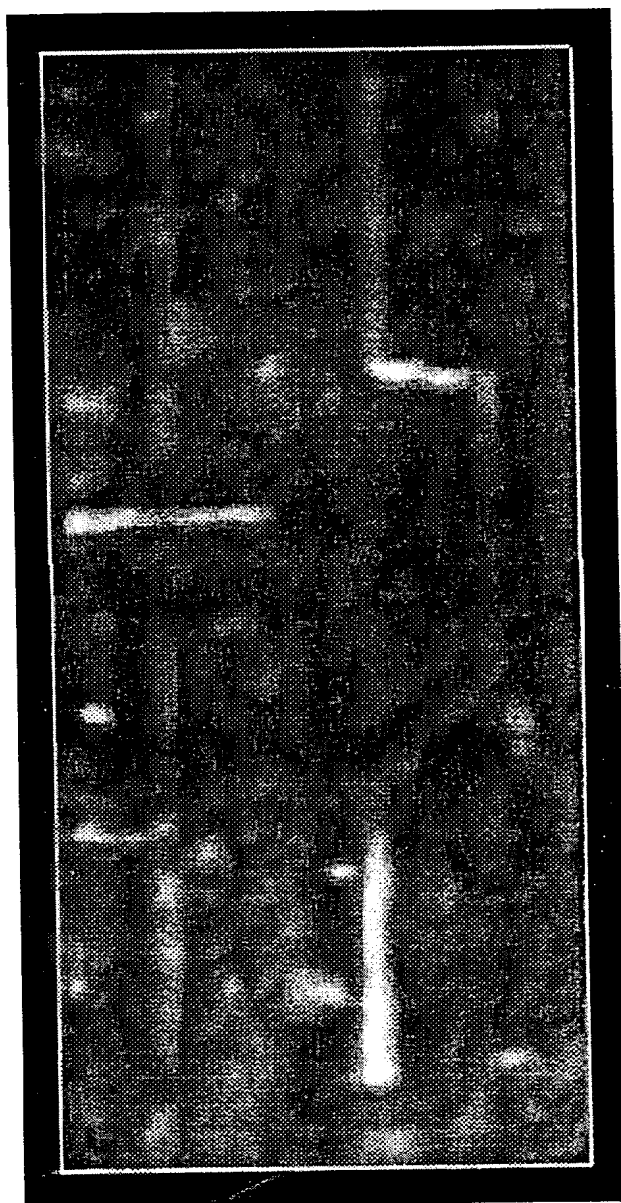
Fig.23





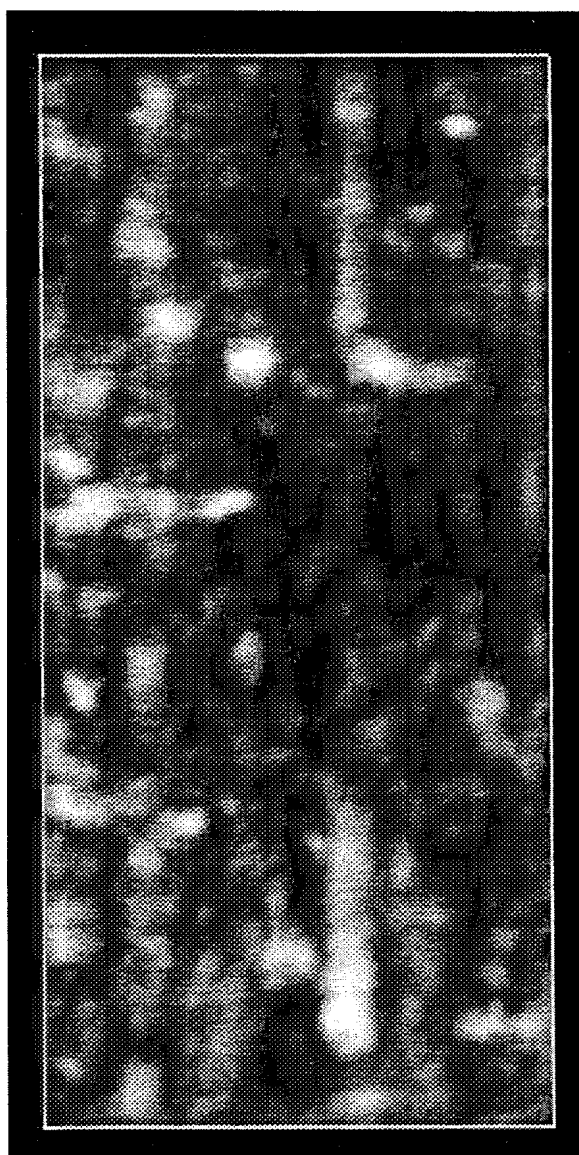
21/27

Fig.24



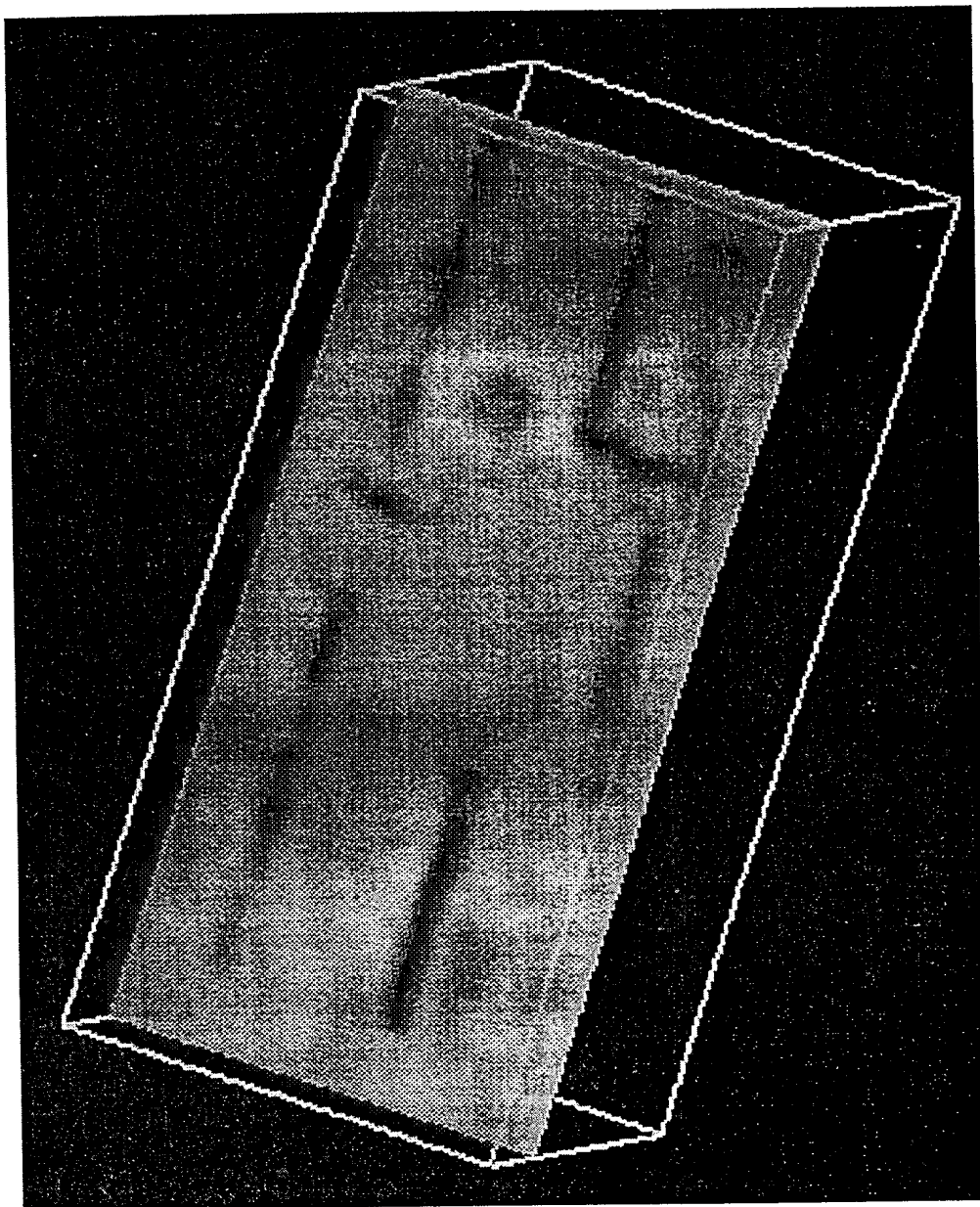
22/27

Fig.25



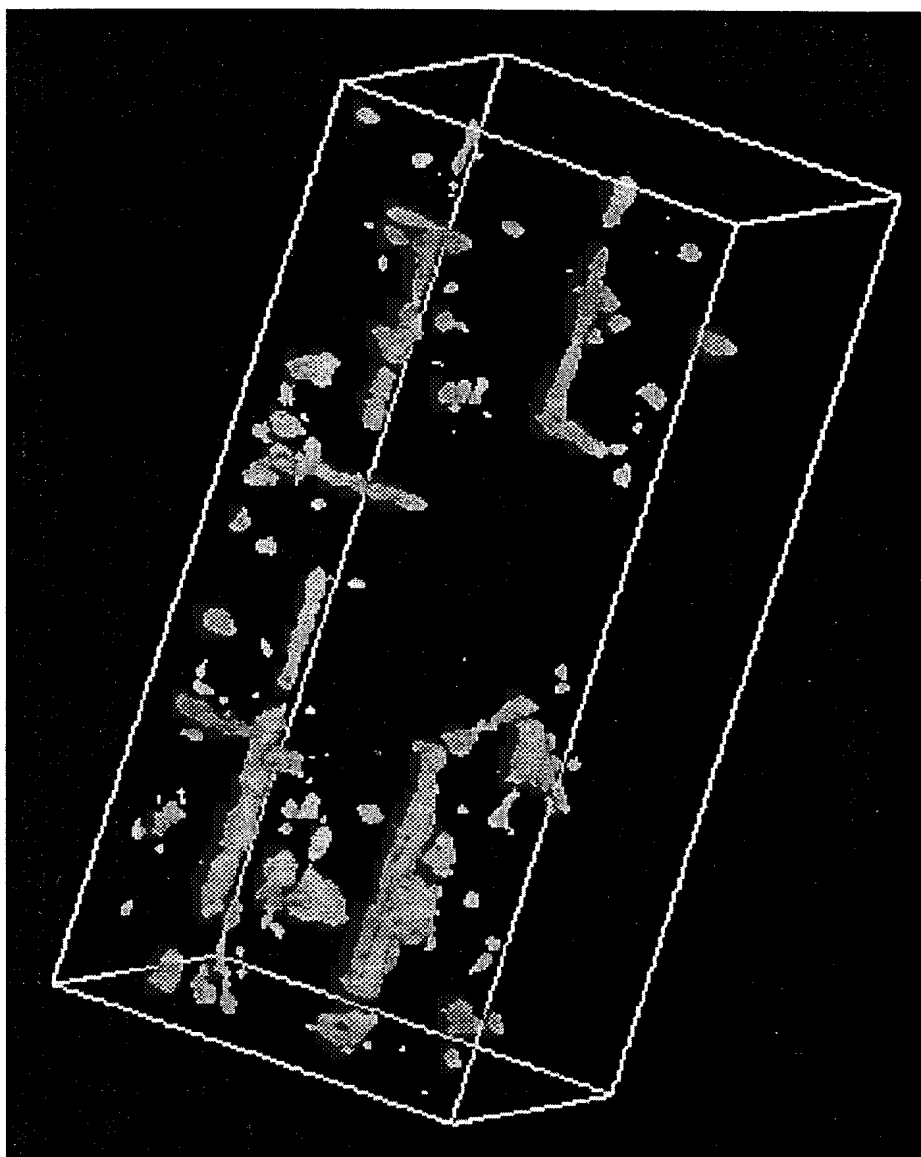
23/27

Fig.26



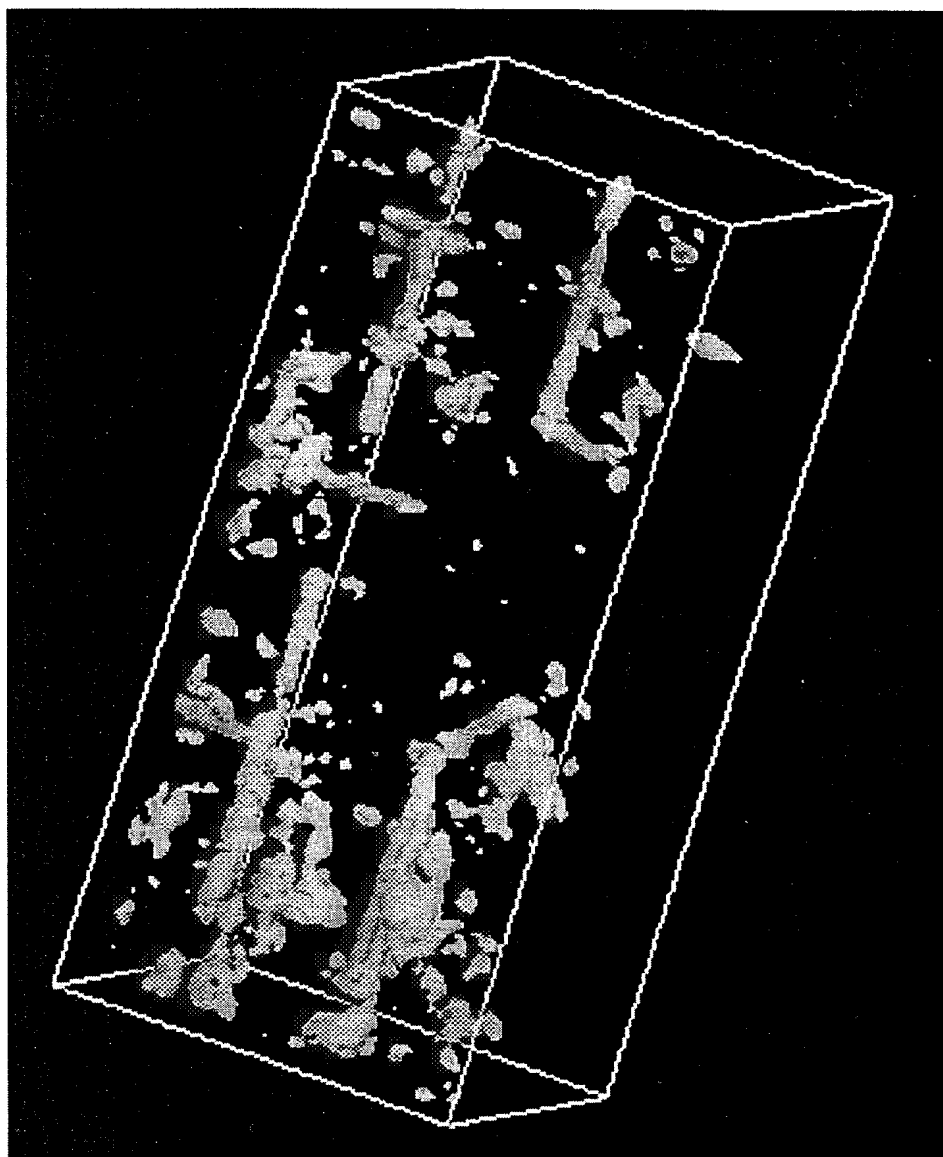
24/27

Fig.27



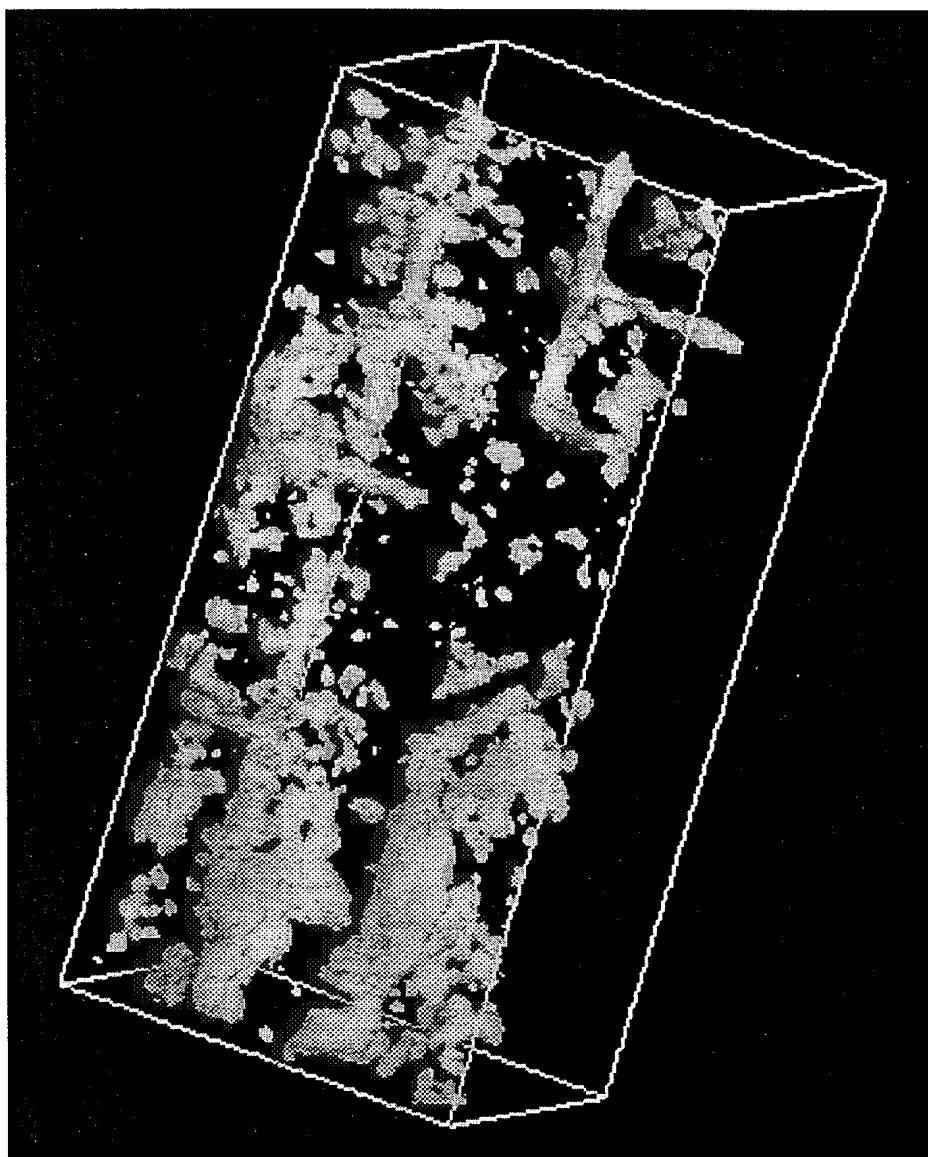
25/27

Fig.28



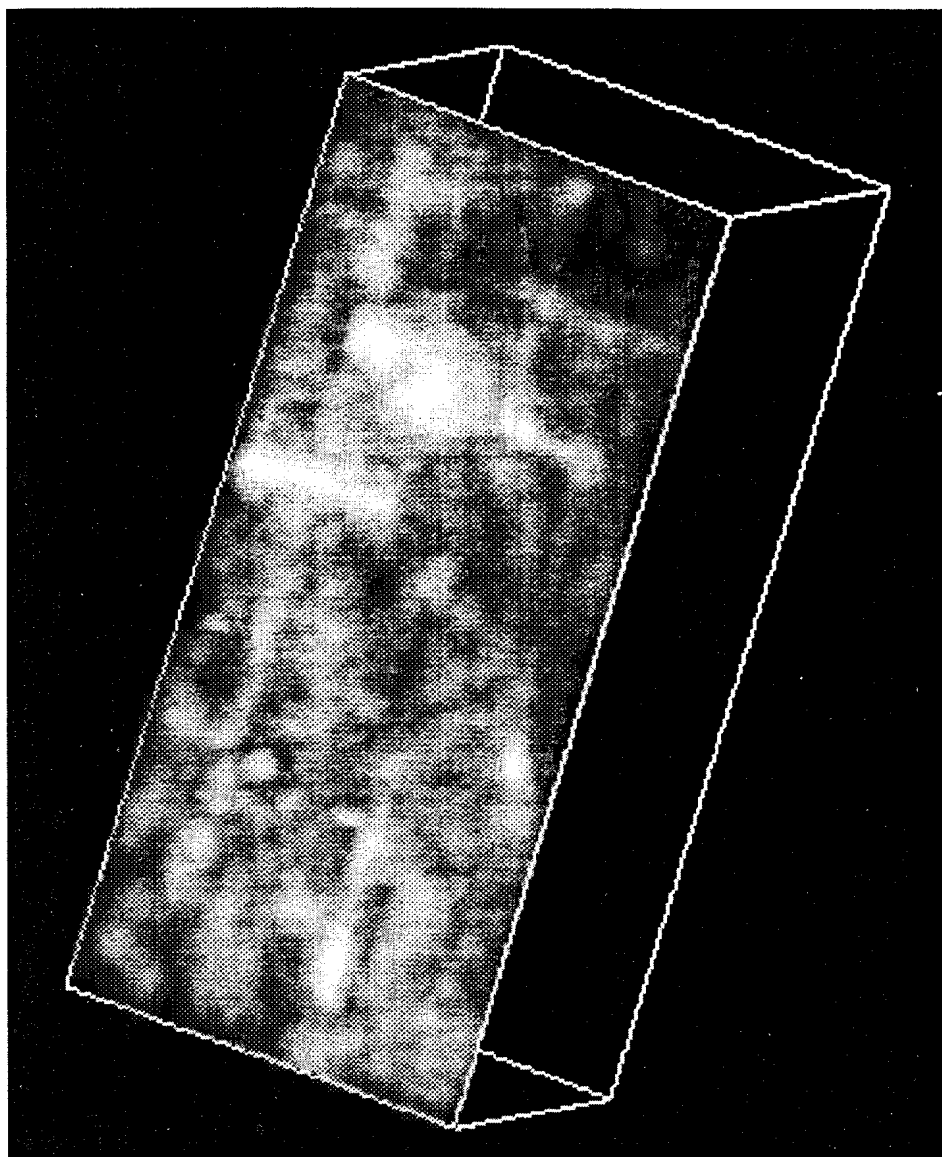
26/27

Fig.29



27/27

Fig.30



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/04670

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> Int.Cl <sup>6</sup> G01S7/20, 13/88, 15/88 G01V3/12		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl <sup>6</sup> G01S7/20, 13/88, 15/88 G01V3/12		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) WPI/L ECLA		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 8-299341, A (ALOKA CO., LTD.), 19 November, 1996 (19.11.96), Full text; all drawings	1-3, 6-9
A	Full text; all drawings (Family: none)	4, 5
X	JP, 9-281229, A (Osaka Gas Co., Ltd.), 31 October, 1997 (31.10.97), Full text; all drawings	10, 11, 13, 14 19, 21
Y	Full text; all drawings	1-3, 6-9, 16-17, 20
A	Full text; all drawings (Family: none)	12, 15, 18
Y	JP, 10-39041, A (Osaka Gas Co., Ltd.), 13 February, 1998 (13.02.98), Par. Nos. [0019], [0026] (Family: none)	7
Y	JP, 8-54477, A (Japan Radio Co., Ltd.), 27 February, 1996 (27.02.96), Full text; all drawings (Family: none)	16, 17
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search 15 November, 1999 (15.11.99)		Date of mailing of the international search report 24 November, 1999 (24.11.99)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/04670

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 8-54476, A (Japan Radio Co., Ltd.), 27 February, 1996 (27.02.96), Par. No. [0017] (Family: none)	15
Y	JP, 6-138250, A (Osaka Gas Co., Ltd.), 20 May, 1994 (20.05.94), Full text; all drawings (Family: none)	20
PX	JP, 11-6879, A (Osaka Gas Co., Ltd.), 12 January, 1999 (12.01.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-9, 14-19, 21
EX	JP, 11-271440, A (Osaka Gas Co., Ltd.), 08 October, 1999 (08.10.99), Full text; all drawings (Family: none)	10, 11, 13-21

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP99/04670

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>6</sup> G01S7/20, 13/88, 15/88  
G01V3/12

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>6</sup> G01S7/20, 13/88, 15/88  
G01V3/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922 - 1996年  
日本国公開実用新案公報 1971 - 1999年  
日本国登録実用新案公報 1994 - 1999年  
日本国実用新案登録公報 1996 - 1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI/L  
ECLA

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	J P, 8-299341, A (アロカ株式会社) 19. 11月. 1996 (19. 11. 96) 全文, 全図 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-3, 6-9 4, 5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15. 11. 99

国際調査報告の発送日

24.11.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

長浜 義憲



2S 7719

電話番号 03-3581-1101 内線 3256

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P, 9-281229, A (大阪瓦斯株式会社) 31. 10月. 1997 (31. 10. 97) 全文, 全図	10, 11, 13, 14 19, 21
Y	全文, 全図	1-3, 6-9, 16-17, 20
A	全文, 全図 (ファミリーなし)	12, 15, 18
Y	J P, 10-39041, A (大阪瓦斯株式会社) 13. 2月. 1998 (13. 02. 98) 段落番号【0019】, 【0026】 (ファミリーなし)	7
Y	J P, 8-54477, A (日本無線株式会社) 27. 2月. 1996 (27. 02. 96) 全文, 全図 (ファミリーなし)	16, 17
Y	J P, 8-54476, A (日本無線株式会社) 27. 2月. 1996 (27. 02. 96) 段落番号【0017】 (ファミリーなし)	15
Y	J P, 6-138250, A (大阪瓦斯株式会社) 20. 5月. 1994 (20. 05. 94) 全文, 全図 (ファミリーなし)	20
PX	J P, 11-6879, A (大阪瓦斯株式会社) 12. 1月. 1999 (12. 01. 99) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-9, 14-19, 21
EX	J P, 11-271440, A (大阪瓦斯株式会社) 8. 10月. 1999 (08. 10. 99) 全文, 全図 (ファミリーなし)	10, 11, 13-21